

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

HENRIQUE SHIGUEMITSU DANNO

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TEOR DE LIGNINA DE FIBRAS VEGETAIS NAS
CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS E FÍSICA DO COMPÓSITO CIMENTÍCIO**

BURI

2021

HENRIQUE SHIGUEMITSU DANNO

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TEOR DE LIGNINA DE FIBRAS VEGETAIS NAS
CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS E FÍSICA DO COMPÓSITO CIMENTÍCIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para a obtenção do Título
de Bacharel em Engenharia Ambiental pela
Universidade Federal de São Carlos, Campus
Lagoa do Sino.

Orientador: Prof. Dr. Jonathan Gazzola

BURI

2021

Danno, Henrique Shiguemitsu

Análise da Influência do Teor de Liginina de Fibras Vegetais nas Características Físicas e Mecânicas do Compósito Cimentício / Henrique Shiguemitsu Danno -- 2021.
51f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos,
campus Lagoa do Sino, Buri

Orientador (a): Jonathan Gazzola

Banca Examinadora: Inácio Maria Dal Fabbro, André Ricardo
Alves Guedes Pinto

Bibliografia

1. Sustentabilidade na construção civil. 2. Fibras vegetais. 3.
Concreto alternativo. I. Danno, Henrique Shiguemitsu. II.
Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Lissandra Pinhatelli de Britto - CRB/8 7539



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências da Natureza

Campus Lagoa do Sino



Engenharia Ambiental

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Folha de Aprovação

Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso do(a) candidato(a) Henrique Shiguemitsu Danno, realizada em 08/11/2021:

Jonathan Gazzola

Prof. **Dr. Jonathan Gazzola** - Orientador

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

Inacio Maria Dal Fabbro

Prof. **Dr. Inacio Maria Dal fabbro**

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

André Ricardo Alves Guedes Pinto

Prof. **Dr. André Ricardo Alves Guedes Pinto**

Universidade Federal de Sergipe (UFS)

Dedico este trabalho a minha família, amigos e ao meu orientador.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Quitéria Aparecida de Paula Danno, Mario Danno e irmãs Cecília Mayumi Danno, Camila Hidemi Danno e Júlia Sayuri Danno, por apoiarem minhas decisões, confiarem no meu potencial acadêmico, científico e pessoal, e ajudarem a trilhar meu caminho com respeito, carinho, amor e dedicação. Também agradeço à toda minha família, avôs, avós, tios, tias, primos, primas e amigos.

Aos meus irmãos da Lagoa do Sino, Denner Augusto de Barros Fabiano, Kauê de Jesus Teixeira e Luiz Miguel Faria Ramos por serem minha segunda família, e tornarem os dias longe de casa cada vez mais receptíveis.

À Nadine Michele Svab Santos, pelo companheirismo, amizade, dedicação, paciência e amor. Por estar presente em todos meus momentos bons e em todos meus momentos ruins, sempre me ajudando a ser uma pessoa cada vez melhor.

Aos meus colegas do Grupo de Pesquisa de Materiais Alternativos na Construção Civil (GPMACC), pela reciprocidade e compartilhamento de conhecimento.

Aos professores, técnicos e funcionários da UFSCar – *Campus* Lagoa do Sino pela dedicação, apoio e ensinamentos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Jonathan Gazzola por me acolher desde o início da minha graduação em 2017, me orientando, instruindo e me apoiando em diversos projetos, estágio, três iniciações científicas e principalmente em momentos difíceis da Pandemia da COVID-19.

Sou grato a todos que me apoiaram de todas as formas, aos que me inspiraram e acreditaram no meu potencial.

“Transmita o que aprendeu. Força, mestria. Mas fraqueza, insensatez, fracasso também. Sim, fracasso acima de tudo. O maior professor, o fracasso é.”

(Mestre Yoda, Star Wars)

RESUMO

DANNO, Henrique Shiguemitsu. **Análise da influência do teor de lignina de fibras vegetais nas características físicas e mecânicas do compósito cimentício**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de São Carlos, *campus* Lagoa do Sino, Buri, 2021.

A construção civil é um setor industrial altamente consumidor de recursos naturais. Para suprir essa demanda, esse setor tem buscado usar fontes alternativas de matéria-prima e com bom desempenho mecânico. Esse mercado busca, novas fontes de fibras, visto que o amianto, material mais comumente utilizado, apresenta restrições quanto a legislação, além do aço e polímeros que causa impactos negativos na sua extração e beneficição. Devido ao potencial agrícola do Brasil, fibras vegetais são fontes naturais e renováveis, podendo ser aplicadas em fibrocimento. Porém, seu desempenho mecânico pode ser variável de acordo com o teor de lignina. O presente projeto de pesquisa objetivou analisar a influência que o teor de lignina de fibra vegetal pode provocar na resistência mecânica de concreto acrescido de fibras, procurando a possibilidade de estabelecer uma relação entre esses dois fatores de modo a prever a viabilidade de seu uso na construção civil. Para esse trabalho de pesquisa, foram analisados dois tipos de fibra vegetal com diferentes teores de lignina (soja e bambu). As fibras vegetais foram preparadas com tratamento de secagem para remoção de umidade interna. Posteriormente tiveram seu comprimento crítico determinado por ensaio de destacamento (pull-out) e cortadas para serem incorporadas ao fibrocimento. Os corpos de prova foram moldados em porcentagens de 0, 2, 6 e 10%, e curados de acordo com a NBR 5738 e NBR 5739, respectivamente. Ensaio de resistência mecânica obedeceram a NBR 5739. A resistência característica foi determinada com base na NBR 12655, e o Ensaio de Impacto seguiu a NBR 13818/1997. Conclui-se que pode haver uma relação direta entre o teor de lignina e o acréscimo de resistência e absorção de energia do concreto. O modelo recomendado com os melhores resultados foi o com acréscimo de 2% de fibra de Bambu.

Palavras-chave: Material alternativo de construção; Concreto; Fibras Vegetais; Teor de Lignina.

ABSTRACT

DANNO, Henrique Shiguemitsu. **Analysis of the influence of plant fiber lignin content on the physical and mechanical characteristics of the cementitious composite.** 2021. Final Paper – Federal University of São Carlos, *campus* Lagoa do Sino, Buri, 2021.

Civil construction is an industrial sector that consumes natural resources. To supply this demand, this sector has sought to use alternative sources of material and with positive mechanical performance. This market is looking for new sources of fibers, since asbestos, the most commonly used material, has restrictive restrictions regarding legislation, in addition to steel and polymers that cause negative impacts on its extraction and processing. Limit to Brazil's agricultural potential, vegetable fibers are natural and renewable sources, and can be applied in fiber cement. However, its mechanical performance can vary according to the lignin content. This research project aimed to analyze the influence that the lignin content of vegetable fiber can have on the mechanical strength of fiber concrete, looking for a possibility of establishing a relationship between these two factors in order to predict the feasibility of its use in civil construction. For this research work, there were two types of vegetable fiber with different lignin contents (soybean and bamboo). Vegetable fibers were prepared with drying treatment to remove internal moisture. Subsequently, its critical length was determined by a pull-out test and cut to be incorporated into the fiber cement. The test pieces were molded in body percentages of 0, 2, 6 and 10%, and cured according to NBR 5738 and NBR 5739, respectively. Mechanical strength tests followed NBR 5739. Mechanical strength was provided based on NBR 12655, and the Impact Test followed NBR 13818/1997. It can be demanded that there is a direct relationship between the lignin content and the increase in strength and energy absorption of the concrete. The recommended model with the best results was with an addition of 2% Bamboo fiber.

Keywords: Non-conventional materials; Concrete; Vegetable Fibers; Lignin content.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Quantidade de Planetas por país.	17
Figura 2. Ilustração do complexo estrutural da biomassa vegetal.	23
Figura 3. Mecanismo de transferência de tensões entre a matriz e as fibras.....	24
Figura 4. Compósitos reforçados com fibras (a) contínuas e alinhadas, (b) descontínuas e alinhadas e (c) descontínuas e aleatoriamente orientadas.	25
Figura 5. Corpos de prova confeccionados para determinação do comprimento crítico.	27
Figura 6. Modelo de Corpo de Prova para o Ensaio de Energia de Impacto.	29
Figura 7. a) Disposição do corpo de prova na prensa. b) Disposição do corpo de prova sob o prato de carga.....	30
Figura 8. Ensaio de Energia de Impacto, modelo fora de escala.....	32
Figura 9. Ensaio de Energia de Impacto.	33
Tabela 1. Teor de Lignina das Fibras (%).	34
Gráfico 1. Variação da massa específica característica dos corpos de prova.....	35
Gráfico 2. Variação da resistência mecânica característica dos corpos de prova.....	35
Figura 10. Ruptura de concreto reforçado com fibra de soja.	37
Figura 11. Ruptura de concreto reforçado com fibra de bambu.....	37
Gráfico 3. Variação da energia de ruptura dos corpos de prova.....	38
Figura 12. Corpo de prova após o Ensaio de Impacto.	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NBR - Norma Brasileira

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

PNRS - Plano Nacional de Resíduos Sólidos

RSU- Resíduos Sólidos Urbanos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	16
2.1	GERAL	16
2.2	ESPECÍFICOS	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	SUSTENTABILIDADE	16
3.2	RESÍDUOS SÓLIDOS	19
3.2.1	<i>Classificação dos Resíduos Sólidos</i>	19
3.2.2	<i>Resíduos agrossilvopastoris</i>	20
3.3	SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL	21
3.4	FIBRAS VEGETAIS	22
3.4.1	<i>Teor de Lignina</i>	22
3.4.2	<i>Caracterização das Fibras de Soja</i>	23
3.4.3	<i>Caracterização das Fibras de Bambu</i>	23
3.5	UTILIZAÇÃO DE FIBRAS EM CONCRETO	24
3.5.1	<i>Introdução de fibras vegetais em concreto como material alternativo</i>	25
4	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	26
4.1	PREPARO DAS FIBRAS E MATERIAIS	27
4.2	PREPARO, MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA	28
4.2.1	<i>Corpos de prova para o ensaio de compressão</i>	29
4.2.2	<i>Corpos de prova para o ensaio de impactos</i>	29
4.3	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA	30
4.4	ENSAIO DE COMPRESSÃO	30
4.5	ENSAIO DE RESISTÊNCIA A IMPACTOS	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34

6 CONCLUSÃO.....	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
ANEXO A - DADOS DE MASSA ESPECÍFICA (G/CM³) CARACTERÍSTICA DOS CORPOS DE PROVA.	49
ANEXO B - DADOS DE RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA DOS CORPOS DE PROVA (MPA).	50
ANEXO C – QUANTIDADE DE IMPACTOS POR CORPO.....	51
ANEXO D – ENERGIA TOTAL.....	52
ANEXO E – MÉDIA DA ENERGIA TOTAL.	53

1 INTRODUÇÃO

O crescente consumo energético e de recursos naturais não renováveis conseguem promover uma estabilidade econômica, consumista e com um progressivo avanço tecnológico, entretanto, o valor agregado a esses benefícios são os impactos ambientais negativos, como a supressão da biodiversidade, geração de resíduos e uma preocupação nas esferas do aquecimento global.

O setor mais conhecido pelo progresso e extração de matéria prima virgem, é o da construção civil, ele sozinho consegue ser responsável por cerca de 50% dos recursos naturais coletados, além de ser um dos maiores geradores de resíduos sólidos urbanos. Mesmo sendo o setor produtivo mais antigo, é visto uma grande carência de tecnologias que consigam suprir suas necessidades sem impactar negativamente o meio ambiente. Seu principal desafio está em buscar fontes alternativas de matéria prima com base em conceitos de reutilização e reciclagem, o que diminui o consumo de energia, poluição e disposição dos resíduos.

Diversos estudos são realizados com o intuito de aproveitamento de resíduos de construção e demolição como agregados, como também, a introdução de fibras vegetais no lugar de alguns materiais, como o amianto, aço e polímeros. As fibras vegetais são abundantes por poderem fazer parte da produção dos alimentos, além de ter uma ampla gamificação pela diversidade de biomas e climas no Brasil. As fibras possuem um composto estrutural, como a lignina, elas conseguem absorver energia e evitar a fissuração de um compósito. Alguns exemplos de fibras abundantes e de fácil acesso são as de soja e as de bambu.

Segundo a EMBRAPA (2018), e o SENAR MS (2014), o Brasil possui 35,1 milhões de hectares de soja, e 1,5 milhões de hectares de bambu, respectivamente, apresentando uma alta quantidade de fibras que podem ser utilizadas para a construção civil. Porém, o tipo de fibra, a fração volumétrica, o comprimento e diâmetro usado para compor o concreto, afeta a sua resistência. Qualquer variação nos componentes usados para compor a matriz cimentícia deve ser estudada para garantir a segurança de uma estrutura de concreto e não proporcionar posteriormente patologias.

Logo, a introdução de fibras vegetais na construção civil pode ser viabilizada se estabelecer uma relação entre teor de lignina da fibra vegetal com suas características mecânicas. Porém, a inclusão de um material novo como passível de uso na construção civil, necessita de uma caracterização física e mecânica. Adiciona-se ainda o fator de escassez de recursos naturais e restrições de alguns compostos atualmente utilizados em compósitos

fibrosos. A importância se verifica quando esse estudo se aplica em um setor que busca de forma constante novas fontes alternativas de material.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Objetiva-se com esse projeto, analisar a influência do teor de lignina de duas fibras vegetais (Soja e Bambu) na resistência mecânica de uma matriz compósita de concreto acrescido de fibras. Os materiais compósitos passaram por ensaios compressão, impacto e massa específica.

2.2 ESPECÍFICOS

Para alcançar a proposta do trabalho, alguns objetivos específicos foram atingidos, tais como:

- a) Coletar e preparar fibras de soja e bambu para determinação de seus teores de lignina;
- b) Produzir corpos de prova em formato cilíndrico de concreto acrescido de fibras;
- c) Realizar ensaios de massa específica e compressão para determinar a resistência mecânica, utilizando as fibras vegetais propostas com percentuais de 0% (Corpo de controle), 2%, 6% e 10% em relação ao volume total;
- d) Produzir corpos de prova em formato de placas de concreto acrescido de fibras, e realizar ensaio de impacto para determinar a resistência mecânica, utilizando as fibras vegetais
- e) Relacionar os dados de propriedades mecânicas e física entre os diferentes teores de fibras analisados, determinando a relação existente entre o teor de lignina, tanto da fibra, como para seu volume incorporado na matriz cimentícia, no que tange sua resistência.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 SUSTENTABILIDADE

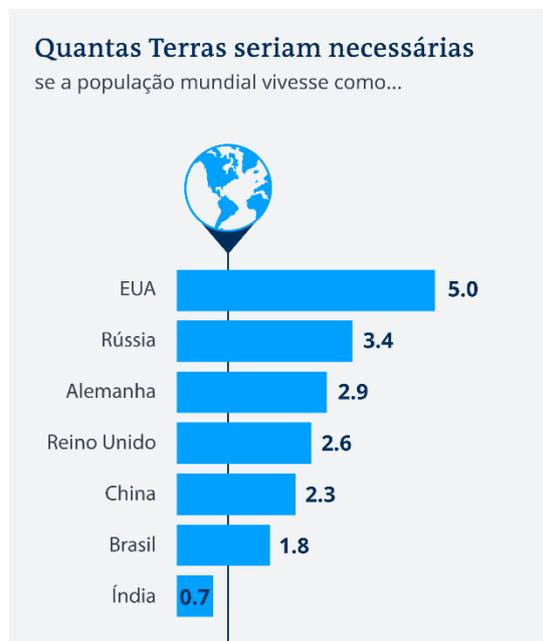
A demanda por recursos naturais e energia vem preocupando diversos setores industriais, políticos e sociais (UNEP, 2002). O aumento pela demanda está atrelado por alguns fatores, como o crescimento populacional e o consumo descontrolado. De acordo com a Organização das Nações Unidas (2019), a perspectiva de população em 2050 é de 9,7 bilhões de pessoas, podendo chegar a quase 11 bilhões em 2100.

Essas interferências são tão impactantes que o vencedor do Nobel de Química, Paul Crutzen (1995) trouxe com maior foco que as atividades antropogênicas afetaram

profundamente a Terra, e que o papel do ser humano na geologia e ecologia deve ser reconhecido desde o século XVIII (Início da Revolução Industrial), vivenciando a ideia de transição do período geológico Holoceno para o Antropoceno, no qual aborda que a influência humana sobre o planeta causa impactos irreversíveis a curto prazo. (VIOLE e BASSO, 2016).

Mundialmente, 80% dos recursos naturais consumidos está nas 20 maiores economias do planeta. O uso desproporcional de energia e recursos se dá principalmente pelo estilo consumista que o poder econômico pode fornecer, principalmente nos países mais desenvolvidos como Estados Unidos e países com uma economia crescente com base na produção de equipamentos para consumo como a China (VIOLE e BASSO, 2016). Esse fator é demonstrado pela Figura 1, que indica a quantidade de planetas necessários de acordo com o estilo de vida de cada população, chegando à média de 1,7 planetas para o mundo como um todo. Para se existir um consumo de 5 planetas nos Estados Unidos da América, países subdesenvolvidos da África, América, Ásia e Oriente Médio precisam viver com muito menos que um planeta, como o caso da Índia, que mesmo com uma população de 1,38 bilhão, a segunda maior do mundo, vivem em condições sub-humanas com 0,7 planetas.

Figura 1. Quantidade de planetas por país.



Fonte: DW, 2021.

A crise ambiental não traz à tona problemas da natureza, e sim problemas que se manifestam nela, sendo esses causados nas relações sociais, nos modelos de sociedade e desenvolvimento na qual historicamente o ser humano foi construído. Milaré (2014) afirma que não se sabe até quando o ser humano vai conseguir retirar mais recursos do ecossistema da

Terra para manter o estilo atual de consumismo, mas a previsão é que progressivamente em um futuro próximo, crises extremas possam se tornar realidade na vida global.

Um fator atrelado ao consumismo desenfreado, é a geração de resíduos sem circularidade. Seguindo a lógica linear de extração-consumo-descarte, só no Brasil, foram gerados 79,1 milhões de toneladas de resíduos urbanos em 2019, o equivalente a mais de 1 kg/hab/dia, com uma maior concentração no Sudeste, seguido pelo Nordeste, Sul, Centro-Oeste e Norte (PIRES e OLIVEIRA, 2021). Já a nível mundial, são produzidos 1,4 bilhão de toneladas de resíduos sólidos, com um parâmetro de 1,2 kg/hab/dia, desse valor total, 57,4% é destinado a aterros sanitários (BRASIL, 2019), e o restante da maioria não tem destinação, sendo assim, mais de 90% dos resíduos não tem o seu potencial máximo aproveitado, e muito menos, fazem parte de um sistema de circularidade.

Previendo todo esse caos de gerenciamento de extração e descarte, na década de 60, cientistas já começaram a alertar os governos sobre o rumo catastrófico que o planeta estaria sujeito com um aumento de mais de 1,5°C em sua temperatura média (previsão para 2050), gerando aumento dos níveis dos oceanos, desequilíbrio nos ecossistemas, crises hídricas e energéticas, escassez de alimentos, e aumento de desastres naturais, levando ao começo da 6ª extinção em massa, provocada agora, pelo ser humano (FROESTAD; SHEARING, 2017).

De acordo com de Passos (2009), uma mobilização social e política começou a provocar um ponto de partida na preservação dos recursos naturais. Esse ponto é dado pela Conferência de Estocolmo (1972). Além de incentivar o começo de debates mais aprofundados sobre o meio ambiente, a Conferência de Estocolmo deu início a uma nova era de perspectiva, visto que, em sequência, a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento foi criada (1983), mais conhecida como Comissão de Brundtland. Essa comissão passou anos formulando um dos relatórios mais importantes para o meio ambiente, um resultado de diversos pesquisadores, políticos e ambientalistas que contribuíram por meio de anos de audiências públicas pelo mundo. O destaque fica para os princípios do “desenvolvimento sustentável”, definido como:

(...) desenvolvimento que atende as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações de atender as suas próprias necessidades, o que só seria possível com um modelo econômico que conciliasse desenvolvimento econômico com a preservação dos recursos naturais disponíveis (DIAS, 2018, p.12).

Destrichando esse novo conceito, Lima *et. al* (2019) afirma que o mesmo pode ser complementado pelo Tripé da Sustentabilidade, baseado na relação entre três dimensões, a

esfera Social, Econômica e Ambiental. De acordo com Elkington (2004), a transição dos governos e das empresas para uma economia global sustentável, deve ser pautada por meio de uma metamorfose tecnológica, econômica, social e política promovida pela insustentabilidade dos padrões atuais de riqueza.

No período de Redemocratização do Brasil, foi lançada a Constituição de 1988, considerada uma constituição cidadã e uma das poucas idealizadas a partir de conceitos como o da sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, criando assim, meios políticos e jurídicos para uma preservação ambiental pautada no Art. 225, definido como:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988, Art. 225).

3.2 RESÍDUOS SÓLIDOS

O resíduo sólido é o descarte gerado a partir da atividade comercial, industrial e de serviços, tanto urbano, rural, público ou privado (KRELING, 2006). De forma técnica e usual, o resíduo é definido pela Norma NBR nº 10.004/2004 da ABNT como:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (NBR 10.004, 2004, p. 1).

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305/2010, institui de forma legal as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de todos os tipos de resíduos sólidos, distribuindo a responsabilidade de geração entre gerador (sociedade e produtor) e o poder público.

3.2.1 Classificação dos Resíduos Sólidos

Os resíduos sólidos podem ser classificados de duas formas, pela NBR 10.004/2004 é utilizado o critério de indicação da origem, descrição do processo e descrição do critério adotado na escolha de parâmetros analisados, sendo os seguintes:

- a) Resíduos Classe I (Perigosos) – São aqueles que apresentam certa periculosidade, podendo ser inflamável, corrosivo, reativo, tóxico ou patogênico.

- b) Resíduos Classe II (Não Perigosos) – São aqueles que não apresentam periculosidade.
 - a. Resíduos Classe II A (Não Inertes) – Aqueles que possuem a propriedade de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
 - b. Resíduos Classe II B (Inertes) – São os resíduos quem quando submetidos a um contato dinâmico ou estático com a água destilada, não tiveram seus constituintes solubilizados e ultrapassando os limites aceitáveis de potabilidade da água, levando-se em consideração, cor, turbidez, dureza e sabor.

A segunda forma de se classificar é levando em consideração apenas a origem, ela é definida pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (2010), como: resíduos domiciliares; resíduos de limpeza urbana; resíduos sólidos urbanos; resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços; resíduos dos serviços públicos de saneamento básico; resíduos industriais; resíduos de serviços de saúde; resíduos da construção civil; resíduos agrossilvopastoris; resíduos de serviços de transportes; resíduos de mineração.

Diversos autores citam que os resíduos industriais, de serviços da saúde, de construção civil etc. também fazem parte dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), como Zanta e Ferreira (2003) sugerem. A quantidade de RSU cresce a todo momento no Brasil, sendo que, de 2000 a 2008, cresceu cerca de 23,06%. No país, a matéria orgânica, em sua grande maioria, proveniente das atividades diárias da população é depositada em aterros. Estes aterros controlados e sanitários, mesmo que modernizados, ainda não se apresentam como uma solução ecologicamente correta por inutilizar grandes áreas de terra, além de um alto risco de contaminação do solo, da atmosfera e dos lençóis freáticos (BAVARESCO, 2016).

3.2.2 *Resíduos agrossilvopastoris*

O Brasil é um país destaque em relação a produção agrícola, sendo um setor econômico de grande influência, só em 2010, foi responsável por 15,74% do PIB nacional (SCHNEIDER *et al.*, 2012). Esse crescimento também se dá pelo seu nível de exportação de alimentos, com destaques para compradores como China, Estados Unidos da América e Europa (SCOLARI, 2006).

Todo esse crescimento também é atrelado à uma alta quantidade de resíduos gerados, em 2009, essa resultante foi de mais de 291 milhões de toneladas de resíduos com uma

contrapartida de quase 855 milhões de toneladas de produção total colhida, o equivalente a 34% (SCHNEIDER *et al.*, 2012).

3.3 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O setor da construção civil é um indicador de crescimento e desenvolvimento econômico, e que se expande e contrai de acordo com a situação em que uma nação se encontra (AGOPYAN e JOHN, 2011). Devido ao rápido crescimento populacional, existe uma alta demanda dos recursos naturais no mundo, principalmente no Brasil, entretanto, para suprir a alta demanda de material requerida, se faz necessário o consumo de até 50% do total de recursos extraídos da natureza, além da geração de resíduos (MACEDO *et al.*, 2019; BRASILEIRO e MATOS, 2015).

A indústria da construção tem buscado usar fontes alternativas de matéria prima para suprir essa crescente demanda, mas que ao serem incorporados, mantenha as qualidades mecânicas dos materiais convencionais, fazendo com que haja uma diminuição do impacto negativo em termos de energia, consumo, poluição, disposição de resíduos e aquecimento global (BEHERA *et al.*, 2014). Para Macedo *et al.* (2019), os recursos alternativos tem sido cada vez mais estudados e aplicados na produção de concretos alternativos, incorporando materiais com benefícios ambientais, econômicos e tecnológicos.

De acordo com Monteiro Filha (2010), o Brasil demonstra poucos avanços inovadores na cadeia da construção civil, de forma que, implementar inovações na fabricação ou na reutilização de concreto são necessárias para sua evolução. Nesse contexto, o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (2009) formulou considerações e recomendações para tornar a construção civil cada vez mais sustentável por meio dos seguintes tópicos:

- Seleção de materiais com base na sustentabilidade: um fator que leva em consideração as empresas de fornecimento que devem possuir informalidade zero e ter como base critérios socioambientais;
- Critérios para seleção da alternativa eco eficiente: uma etapa onde os fornecedores que não cumprem os requisitos são eliminados. Nessa etapa outros fatores são determinantes na escolha, como o ciclo de vida do produto, sua durabilidade e vida útil;
- Redução do consumo de materiais: deve-se analisar a forma mais eficiente de dispor e consumir um material, produzir mais com o mesmo;

- Ecoeficiência do processo produtivo: verificar a fábrica que produz com a maior eficiência residual e energética, bem como a utilização de resíduos como matérias primas na cadeia produtiva.

3.4 FIBRAS VEGETAIS

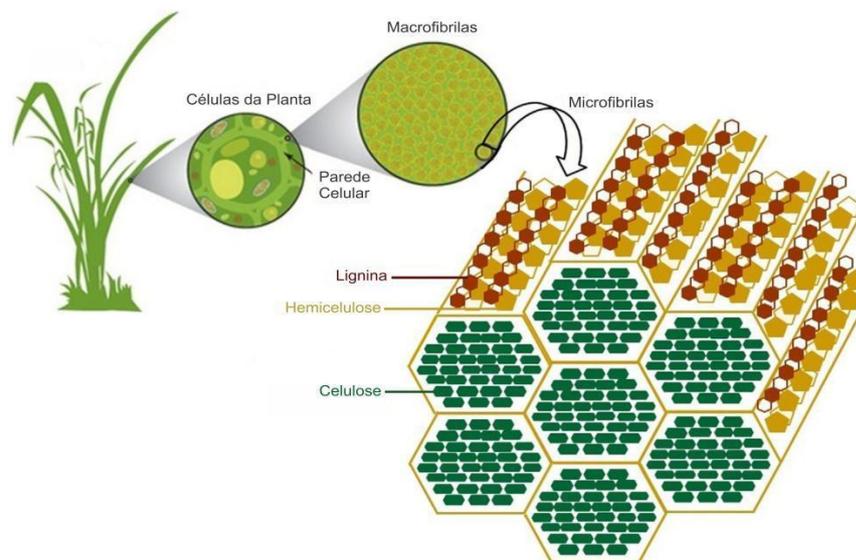
As fibras vegetais são compósitos naturais formados a partir de fibrilas celulósicas incorporadas em uma matriz de lignina, o que fornece resistência e flexão. Os principais componentes de uma fibra são a lignina, celulose, hemicelulose e a pectina (SAVASTANO JR., 2000).

3.4.1 Teor de Lignina

Segundo Oliveira (2017), as fibras vegetais são constituídas por microfibras unicelulares e unidas pela lignina, visto que esse composto, é uma substância amorfa, de natureza aromática e muito complexa. A estrutura da lignina é composta em sua maioria por unidade de fenilpropano (C₆-C₃) por meio de compostos fenólicos de álcool p-coumarílico, coniferílico e sinapílico (DORTE, 2019), a quantidade de monômeros em uma composição pode variar de acordo com a espécie que está sendo analisada.

A lignina é a substância responsável pela resistência mecânica de vegetais, tratando-se de um dos principais componentes dos tecidos de *gimnospermas* e *angiospermas* (Saliba *et al.*, 2001). Por ser um componente biológico, a lignina possui a desvantagem de se degradar, perdendo a sua resistência, porém, Meschede *et al.* (2012) afirma que a lignina apresenta uma barreira de defesa física e química, o que contribui para a proteção das plantas contra microrganismos fitopatogênicos, isso se dá pela sua alta presença na parede celular e na lamela média das células xilemáticas, indicada pela Figura 2.

Figura 2. Ilustração do complexo estrutural da biomassa vegetal.



Fonte. DORTE, 2019.

3.4.2 Fibras de Soja

A Soja, *Glycine max*, é uma leguminosa de origem asiática, sendo cultivada há mais de 5000 anos, onde foi trazida ao Brasil e conseguiu se adaptar ao clima e solo, hoje, é a principal *commodity* mundial, e uma das mais rentáveis economicamente ao Brasil, tendo como principal consumidor, o mercado Chinês (CÂMARA, 2015).

De acordo com o CONAB (2021), o Brasil fechou a safra com a colheita de quase 136 milhões de toneladas, gerando uma receita líquida de mais de R\$ 721 milhões. Só em 2010, o setor agropecuário gerou quase 42 milhões de toneladas de soja, Matos (2005) afirma que o valor de resíduos gerados do cultivo de soja, equivale a 73% da produção, ou seja, em 2021, a quantidade de resíduos de soja gerados foi de aproximadamente 103 milhões de toneladas. Lenhani *et al.* (2018) afirma que o teor de lignina da Soja é de 18,7%.

3.4.3 Fibras de Bambu

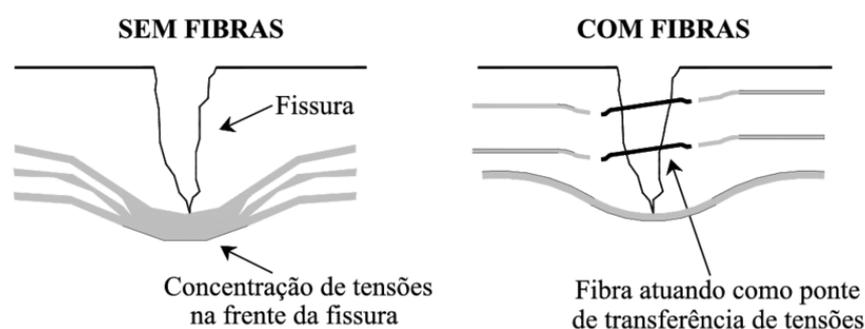
O Bambu, *Bambusa vulgaris vittata*, é uma angiosperma monocotiledônea, que não exige muito do solo, é uma espécie de rápida propagação que tem origem asiática. Foi introduzida no Brasil e se espalhou rapidamente (JACOÉ, 2017). É considerado um material renovável pelo seu rápido crescimento, possuindo 1,5 milhão hectares plantados no Brasil SENAR MS (2014). De acordo com Moreira (2012), seu teor de Lignina é de 24,28%.

3.5 UTILIZAÇÃO DE FIBRAS EM CONCRETO

O concreto é um material conhecido pela sua boa capacidade de suportar esforços de compressão, porém apresenta uma característica frágil na sua ruptura, o impedindo de atingir altos índices de resistência a tração, sendo necessário a introdução de armaduras de aço como um reforço estrutural, o que eleva consideravelmente o seu custo como concreto armado (CALLISTER, 2000). Existem utilidades na qual o concreto não necessita de uma armadura, porém é necessário aumentar a sua capacidade de absorção de energia, nesses casos é introduzido as fibras, o que confere uma maior tenacidade, diminuindo a fissuração e os efeitos de uma ruptura brusca. Para Aoki (2010), é possível utilizar fibras em diversos tipos de concreto, atendendo a finalidades diferentes, podendo criar combinações que geram resistência e aumentam o módulo de deformação ao mesmo tempo, dando a implementação do termo concreto reforçado com fibras.

Jacoski *et al.* (2014) afirmam que no processo de cura do concreto, existe a possibilidade de ocorrer fissuras, seja por retração, temperatura, movimentação ou outros motivos, cabendo as fibras naturais ou sintéticas minimizarem o aparecimento das fissuras originadas pela retração plástica da matriz do compósito cimentício, conforme ilustrado pela Figura 3. Em geral, o uso das fibras não afeta a resistência uniaxial, podendo até haver um aumento em grandes escalas, tendo um grande efeito na resistência à flexão, melhorando as propriedades do concreto em relação a impacto, fadiga e cargas (JACOSKI *et al.*, 2014).

Figura 3. Mecanismo de transferência de tensões entre a matriz e as fibras



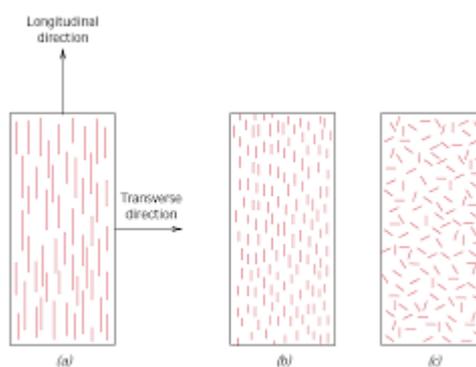
Fonte. FERREIRA, 2007.

De acordo com Ardanuy *et al.* (2015) a capacidade do reforço vai depender diretamente do tipo da fibra, da quantidade utilizada, da sua geometria (relação comprimento x espessura), da homogeneidade na matriz cimentícia, da sua resistência e da capacidade de aderência à matriz. Para a aplicação do concreto com fibras, Tamaki (2011) apresenta a sua utilização em telhas de fibrocimento (substituição do amianto), painéis de vedação vertical, concretos

refratários e placas de argamassa ou plástico reforçadas com fibras de vidro, podendo atingir também a fins estruturais como nos pisos industriais, pavimentos rígidos e também em estruturas de concreto de túneis.

Os compósitos que possuem acréscimo de fibras podem ser classificados como alinhados ou com distribuição aleatória como ilustrado pela Figura 4. De acordo com Callister (2000), o maior reforço está relacionado a direção longitudinal.

Figura 4. Compósitos reforçados com fibras (a) contínuas e alinhadas, (b) descontínuas e alinhadas e (c) descontínuas e aleatoriamente orientadas.



Fonte: Callister, 2000.

3.5.1 Introdução de fibras vegetais em concreto como material alternativo

As fibras vegetais possuem alta quantidade disponível no meio ambiente, o que as tornam viáveis para o mercado da construção civil, além de contribuírem com a redução do consumo de materiais virgens como as fibras de aço, ou as poliméricas (OLIVEIRA *et al.*, 2015). Nesse sentido, as fibras vegetais podem ser consideradas como ótimas vias para serem inseridas no concreto.

Recentemente, várias formas de fibras têm sido incorporadas ao concreto para prevenir o uso direto de outros compostos, como o amianto. Bonato *et al.* (2015) relataram alguns benefícios do uso de fibras de coco como material alternativo na composição de uma matriz cimentícia, tais como, valores de resistência à compressão em concreto significativos e a diminuição na quantidade de CO₂ liberado na atmosfera.

Diversos trabalhos de pesquisas vêm sendo desenvolvido nos últimos anos aplicando fibras na construção civil. Raabe (2019) testou compósitos de fibrocimento com fibras de polpa celulósica modificadas (MF), onde apresentaram resultados de melhorias nas propriedades mecânicas de compressão. Borges *et al.* (2019) fizeram um estudo detalhado sobre as fibras de sisal e rami, verificando a sua viabilidade em paredes estruturais, segundo os autores os

resultados obtidos foram acima do esperado, indicando a possibilidade de troca das fibras sintéticas pelas fibras vegetais.

Ao se abordar a tração na flexão, a introdução de fibras vegetais contribui com o ganho mecânico, como demonstrado Izquierdo (2011) com a utilização da fibra de sisal e Lemos (2019) que viabilizou a fibra de coco. Oliveira *et al.* (2015), confirmaram que o acréscimo de 2% de fibra de Bambu direcionou um aumento de 322% em relação ao concreto convencional, pulando de 1,67 MPa para 5,39 MPa. Tais resultados da literatura contribuem para um ganho de resistência mecânica das fibras vegetais, servindo como potencial para a substituição de fibras tradicionais.

4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O trabalho de pesquisa foi conduzido dentro da Universidade Federal de São Carlos e em domicílio, para sua realização, o mesmo foi dividido em sete etapas, sendo: 1 – Coleta e Preparo das fibras; 2 – Ensaio de Destacamento (*Pull-out*); 3 - Moldagem dos corpos de prova; 4 – Cura do material; 5 – Ensaio de determinação de massa específica; 6 - Ensaio mecânico de compressão axial; 7 – Ensaio de Impacto, com os respectivos laboratórios em que foram conduzidos os procedimentos.

- Coleta e Preparo das fibras de soja e bambu (*Campus* Experimental e Laboratório de Solos – UFSCar/Lagoa do Sino).
- Ensaio de Destacamento (*Pull-Out*) (Laboratório de Reologia – UFSCar/Lagoa do Sino).
- Moldagem dos corpos de prova (Laboratório de Solos - UFSCar/Lagoa do Sino).
- Cura do Material (Laboratório de Solos - UFSCar/Lagoa do Sino).
- Ensaio de determinação da massa específica (Laboratório de Solos - UFSCar/Lagoa do Sino).
- Ensaio mecânico de compressão axial (Laboratório de Ensaio de materiais [LECMAT] – UFSCar/Sorocaba).
- Ensaio de impacto (Domicílio).

4.1 PREPARO DAS FIBRAS E MATERIAIS

As fibras vegetais foram obtidas na área experimental da Universidade Federal de São Carlos – *campus* Lagoa do Sino. O preparo das fibras foi realizado para se remover sua umidade interna. Para tal, as fibras coletadas foram colocadas dentro de uma estufa por 24h à 110 °C.

Com as fibras secas, iniciou-se o processo de determinação do comprimento crítico das fibras vegetais analisadas. Para essa etapa, adaptou-se o ensaio de destacamento (*pull-out*), seguindo as recomendações feitas por Monteiro e da Almeida (2006). Foram moldadas cápsulas de material compósito com um traço de 1:1:0,40 (cimento:areia:água), de formato cilíndrico moldados por tubos de PVC, e comprimento de embutimento das fibras para serem levados a um ensaio de resistência ao destacamento. Nesse trabalho de pesquisa, foram testadas fibras com comprimentos de embutimento de: 0,5 cm (Grupo A); 1,5 cm (Grupo B); 2,5 cm (Grupo C); 3,5 cm (Grupo D) e 4,5 cm (Grupo E). Para cada grupo, foram confeccionados seis corpos de prova (Figura 5). Os corpos de ensaio permaneceram pelo tempo de cura inicial de 28 dias em uma câmara úmida, como recomendado pela NBR 9738/2003.

Figura 5. Corpos de prova confeccionados para determinação do comprimento crítico.



Após o período total de cura, os corpos de prova foram levados para a Laboratório de Engenharia para início dos testes de determinação do comprimento crítico. Deste modo, para dar início preparou-se o texturômetro colocando a garra de tensão e realizando a calibração do mesmo com o auxílio do software no computador. Nesse ensaio, foram anotadas as verificações dos desprendimentos das fibras da cápsula por escorregamento ou por ruptura da fibra vegetal.

Para a parte de pré-moldagem, as fibras foram trituradas de forma manual e separadas a fim de se obter material com o comprimento mínimo de 75 mm, de acordo com o comprimento crítico determinado na primeira fase. A areia e a brita usadas no experimento foram secas em estufa por 24 horas à 110 °C para que se garanta um material isento de umidade.

4.2 PREPARO, MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA

Nesse trabalho foi adotado um traço de concreto com proporção de 1kg de cimento para 1,0 L de areia, 1,16 L de brita e 0,40 L de água, conforme recomendado por Barboza *et al.*; (2013) para concreto de obras de pequeno porte, utilizando o cimento CP II-F-32 da marca Cauê, a água foi retirada do sistema de abastecimento do *Campus* Lagoa do Sino, a brita e a areia foram compradas em loja local do município de Campina do Monte Alegre.

Para saber a quantidade exata de material e evitar desperdícios, foi utilizada a equação 1.

$$C = \frac{\delta}{1+m+a/c} \quad (1)$$

Onde:

C: Consumo efetivo de cimento [kg/m³]

δ : Massa específica do concreto [kg/m³]

1: massa de cimento, a partir do traço unitário em massa [kg]

m: massa de agregados (areia e brita), a partir do traço unitário em massa [kg/kg]

a/c: relação água/cimento [kg/kg]

O preparo e moldagem dos corpos de prova seguiram o que é determinado pelas diretrizes da NBR 5738/2003. Após separado a quantidade de materiais necessárias para a formação do compósito, previamente preparados, os mesmos foram misturados dentro da argamassadeira com uma colher de pedreiro pelo período de 5 minutos após a inserção de todo o volume de material, sendo verificado sua consistência, conforme proposto por Helene e Tutikian (2011). Após essa etapa, as fibras foram inseridas na mistura aos poucos, sendo revolvidas para seu espalhamento ser o mais uniforme possível. Para o experimento, foi utilizado uma relação de volume de fibra vegetal pelo volume total de concreto na proporção de 2%, 6% e 10%, além de corpos de prova com 0% de fibra vegetal que servirá para controle da qualidade do concreto acrescido de fibras em relação ao concreto comum. Iniciou-se então a etapa de moldagem do corpo de prova, sendo que, primeiramente as faces internas dos moldes foram revestidas com uma fina camada de óleo mineral, através do uso de um pincel, para evitar aderência do molde com o compósito. Após isso, a mistura de concreto foi colocada dentro do molde três camadas de forma simétrica até seu preenchimento, sendo adensado para cada camada. Para o adensamento de cada camada, um soquete de metal deverá aplicar 25 golpes.

Após o adensamento, o excesso de concreto foi removido passando a colher de pedreiro rente à borda superior do molde, de forma a dar um acabamento mais uniforme na superfície superior, finalizando assim o processo de moldagem.

A cura do compósito cimentício foi realizada de acordo com os métodos determinados pela NBR 5738/2003. Nessa etapa foi necessário o uso de filme PVC e uma câmara úmida. Após a moldagem, os corpos-de-prova foram armazenados em local protegido de intempéries, sendo devidamente cobertos com filme PVC na superfície superior do corpo moldado pelo período de 24 horas. Após esse período, o filme PVC foi removido e deixado por mais 24 horas para cura ao ambiente. Os corpos foram então desmoldados, identificados e armazenados em uma câmara úmida com temperatura de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar superior a 95% pelo período de 28 dias até o momento de os ensaios serem realizados.

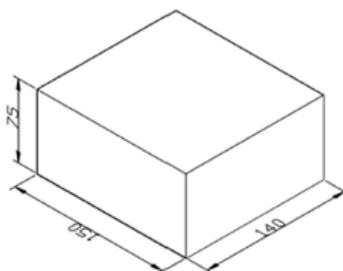
4.2.1 *Corpos de prova para o ensaio de compressão*

A moldagem dos corpos de prova para o ensaio de compressão foi realizada no Laboratório de Solos da UFSCar Lagoa do Sino em um período Pré pandemia. Para essa etapa foram utilizados 6 tubos de PVC cilíndricos de 10 cm de diâmetro com 20 cm de altura e tapados em sua base por caps de mesmo material para cada tipo de fibra (Soja e Bambu) e porcentagem (0%, 2%, 6%, 10%). Ao final, a resultante foi de 24 moldes confeccionados.

4.2.2 *Corpos de prova para o ensaio de impactos*

A moldagem dos corpos de prova para o ensaio de impacto foi realizada no Laboratório de Solos da UFSCar Lagoa do Sino em um período Pré pandemia. Para cada tipo de fibra (Soja e Bambu) e porcentagem (2%, 6%, 10%), foram necessários dois moldes prismáticos em formato de placas com dimensões de 150 mm x 75 mm x 140 mm (Largura x Altura x Comprimento), utilizados nos ensaios de energia ao impacto, como ilustrado pela Figura 6. Ao final, a resultante foi de 12 moldes confeccionados.

Figura 6. Modelo de Corpo de Prova para o Ensaio de Energia de Impacto.



4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

Após o período de cura, os corpos foram pesados e medidos para o cálculo de sua massa específica. As dimensões do corpo de prova foram obtidas com o uso de um paquímetro com precisão de 0,1 mm e a balança digital com precisão de 0,001 kg da marca Balmak (ELP – 6/15/30 – 2014). A massa específica do material foi calculada através da equação 2 e seu valor característico foi dado pela média das repetições realizadas para cada porcentagem analisada.

$$\gamma = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Onde:

γ : Massa específica do corpo de prova [kg/m³]

m: massa do corpo de prova [kg]

V: Volume do corpo de prova cilíndrico [mm²]

4.4 ENSAIO DE COMPRESSÃO

O ensaio mecânico de compressão axial obedeceu às resoluções definidas pela NBR 5739/1994. Para tal, foram necessários dois discos metálicos e dois discos de neoprene de dureza 70 SH que juntos formam os “pratos de carga” e uma prensa hidráulica Emic 300000 DL. O corpo de prova foi cuidadosamente centralizado no prato de carga sendo regularizado pelo disco de neoprene na parte superior e inferior, conforme ilustra a Figura 7.

Figura 7. a) Disposição do corpo de prova na prensa. b) Disposição do corpo de prova sob o prato de carga.



A força foi aplicada continuamente sem pausar em uma taxa de Velocidade de 1,1 MPa/min, até o momento da sua ruptura. A resistência à compressão foi obtida pela equação 3. Ao final, foi criado um gráfico representativo, como exemplificado em Hoppen *et al.* (2005).

$$\sigma = \frac{4F}{\pi D^2} \quad (3)$$

Onde:

σ : Tensão de ruptura do concreto [MPa]

F: Força máxima alcançada [N]

D: Diâmetro do corpo de prova cilíndrico [mm]

4.5 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A IMPACTOS

O ensaio de resistência a impactos foi realizado no período da pandemia em domicílio, além de ser desenvolvido com base no trabalho realizado por Barbosa *et al.* (2013) e por Santos A. C. (2005). As seis placas, duas de cada porcentagem (2%, 6% e 10%), foram submetidas ao ensaio após período de cura de 28 dias. O ensaio para a determinação da resistência ao impacto foi adaptado de acordo com os procedimentos da NBR 13818/1997 de Placas cerâmicas para revestimento, onde um tubo de 2 m foi fixado para conduzir a esfera de massa conhecida sobre o corpo de prova, sendo que a placa de fibrocimento analisada foi colocada em uma caixa contendo areia (Figura 8). A queda foi realizada até o momento de ruptura do corpo, onde a quantidade de quedas foi contabilizada, conforme indicado na Figura 9. Desta forma, a resistência ao impacto foi determinada pelo somatório de energia para o colapso e ruptura das placas. A equação 4 foi utilizada para o cálculo da energia de impacto de cada golpe aplicado, sendo o seu somatório dado pela equação 5.

$$E_I = h \cdot m \cdot g \quad (4)$$

Onde:

E_I : Energia de impacto [J]

h: Altura de queda da esfera [m]

m: Massa da esfera [kg]

g: Aceleração da gravidade [m/s²]

$$E = \sum_{i=1}^x E_I \quad (5)$$

Onde:

E: Energia Total de impacto [J]

x: Número máximo de impactos realizados até a ruptura

i: Índice do Impacto

Figura 8. Ensaio de Energia de Impacto, modelo fora de escala.

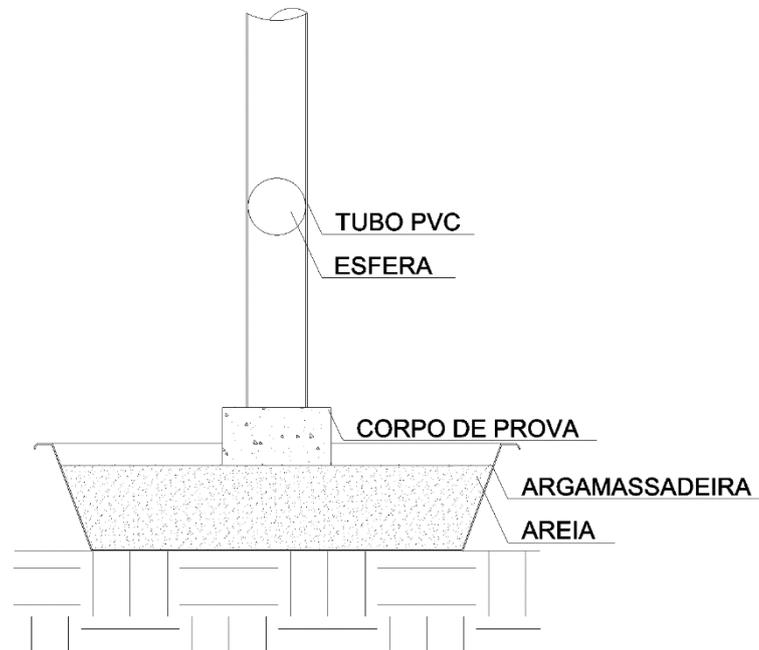


Figura 9. Ensaio de Energia de Impacto.



Os dados de energia de impacto foram dispostos na plataforma Excel, onde foram extraídos dados como média pela equação 7 e desvio-padrão pela equação 6, como recomendado pela NBR 12655/2006.

$$S_d = \sqrt{[\sum(X_i - f_{cm})^2 / (n - 1)]} \quad (6)$$

Onde:

S_d : Desvio Padrão [MPa]

f_{cm} : Média de resistência dos corpos-de-prova [MPa]

x_i : valor na posição i no conjunto de dados [MPa]

n : Número de exemplares da amostra

$$f_{cm} = \frac{\sum f_{ct,f}}{n} \quad e \quad E_m = \frac{\sum E}{n} \quad (7)$$

Onde:

E_m : Média da Energia total de Impacto

n : Número de exemplares da amostra

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A bibliografia demonstra inconsistências de acordo com o melhor método a ser trabalhado na extração da lignina, gerando assim os mais diversos valores de teor de lignina. Na Tabela 1, está indicado valores médios de Lignina Total de cada fibra, os valores foram obtidos por métodos semelhantes propostos por Lenhani (2018) e Marinho (2012).

Tabela 1. Teor de Lignina das Fibras (%).

Teor de Lignina (%)	
Soja	Bambu
18,7	24,28

Fonte. (Lenhani *et al.* 2018, Moreira 2012)

Os resultados de comprimento crítico de fibra, obtidos pelo ensaio de destacamento (*pull-out*) mostraram que o comprimento para soja e bambu apresentaram valores crescentes de força de destacamento, com estabilidade obtida entre os comprimentos de 3,5 a 4,5 cm. Para o presente trabalho de pesquisa, como o comprimento crítico é um dado que busca determinar o comprimento mínimo que uma fibra tenha que ter para absorver a carga transmitida pela fase matricial em um compósito, logo, adotou-se um comprimento padrão para todos os tipos de fibra. Para garantir uma maior segurança nos dados de comprimento crítico, de modo a satisfazer as condições, foi aplicado fator de segurança de 1,4 conforme recomendado por Gazzola *et al.*, (2020). Assim sendo, o comprimento crítico adotado foi entre 5 cm e 7 cm na composição dos corpos de prova.

Os Anexos A e B apresentam os dados de massa específica e de resistência característica à compressão obtidos durante o trabalho de pesquisa, bem como, os Gráficos 1 e 2 que mostram a variação do comportamento das características física de massa específica e de resistência característica à compressão.

Gráfico 1. Variação da massa específica característica dos corpos de prova.

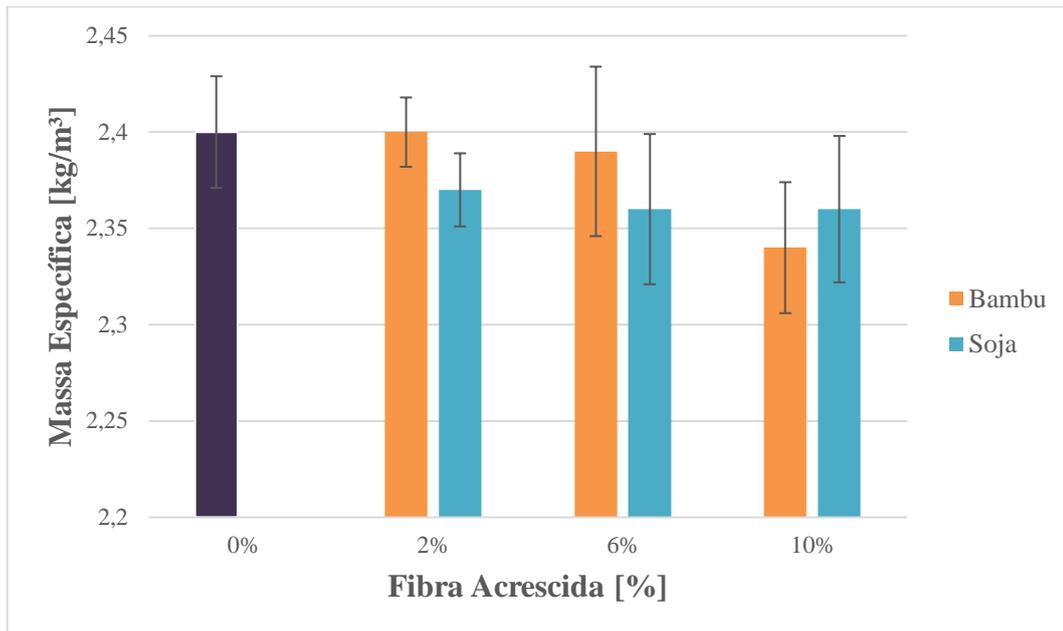
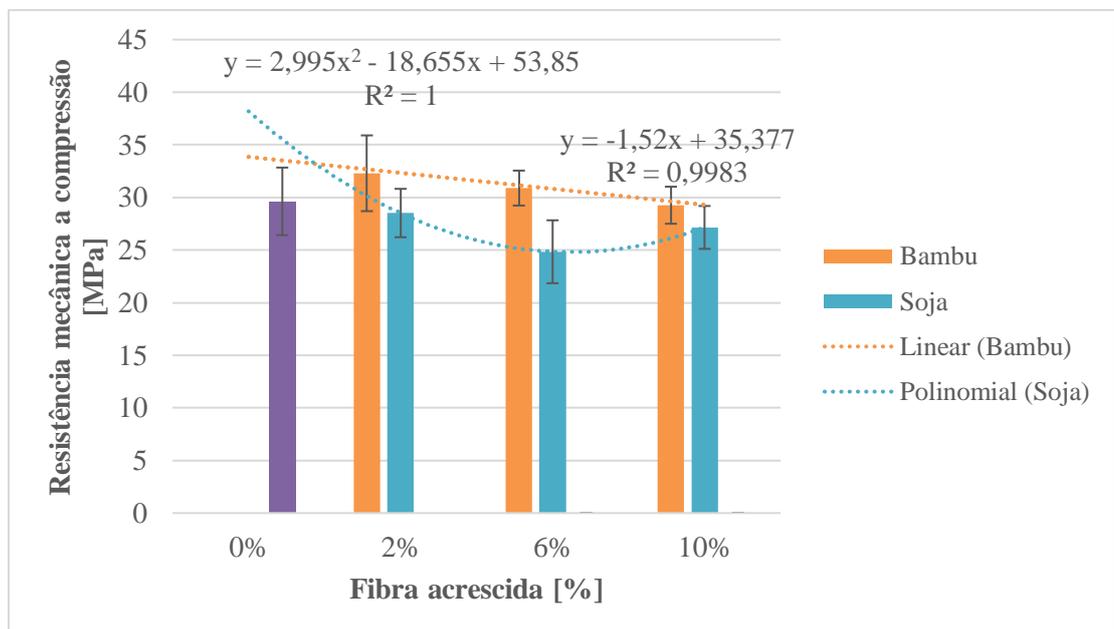


Gráfico 2. Variação da resistência mecânica média à compressão dos corpos de prova.



A análise inicial cai sobre a massa específica exposta no Gráfico 1, ao se comparar os dados entre o concreto convencional e os acrescidos de fibras vegetais, houve uma leve moderação na propriedade física do material alternativo em função do aumento da porcentagem fibra vegetal na mistura, porém, considerando o desvio-padrão, não houveram alterações devido a sobreposição, i.e., o concreto reforçado com fibras vegetais apresentou igualdade em

característica física diante do convencional, podendo assim, classificá-lo como concreto do tipo normal.

Analisando os dados de resistência mecânica à compressão do compósito reforçado com fibras de Bambu em relação ao convencional, foi observado que seus valores cresceram levemente para 2%, dando sequência a uma leve queda em 6% e 10%. Verificando os desvios padrões, existe uma sobreposição entre todas porcentagens de fibra em relação ao concreto convencional, indicando uma equivalência dos mesmos, porém, ao se estipular uma relação entre os compósitos com fibras, os corpos de 2% conseguem se descolar dos corpos de 10%, o mesmo não ocorre ao se abordar os corpos de 6%. A resistência mecânica do compósito com fibra de bambu segue uma queda linear, podendo inferir a não utilização quantidade maiores de fibras.

Em relação ao compósito com fibra de soja, o comportamento foi um pouco diferente, visto que a linha de tendência seguiu uma parábola, com uma queda de 2% para 6%, voltando a aumentar em 10%. A média dos corpos com fibra ficaram abaixo do compósito convencional, entretanto, a partir do desvio-padrão, existe a equivalência dos corpos com adição de soja em relação ao convencional. Ao se comparar o desempenho entre as fibras de soja e bambu a diferença é maior com 2% de bambu, as outras porcentagens possuem a equivalência.

Os dados mostram que o aumento da quantidade de fibra vegetal na composição provoca a diminuição da resistência característica, o que se era esperado que acontecesse, visto que, os teores altos podem aprisionar ar no interior do compósito (GUIMARÃES *et al.*, 2011), fazendo o caminho inversos e facilitando a fissuração por meio da concentração de tensões. As Figuras 10 e 11 ilustram a ruptura dos corpos de prova de soja e bambu, respectivamente. As imagens mostram que o concreto não se separou tão facilmente, como se espera de concretos convencionais. Logo, nota-se que a inserção de fibras possa melhorar as qualidades de tenacidade utilizando essas fibras.

Figura 10. Ruptura de concreto reforçado com fibra de soja.

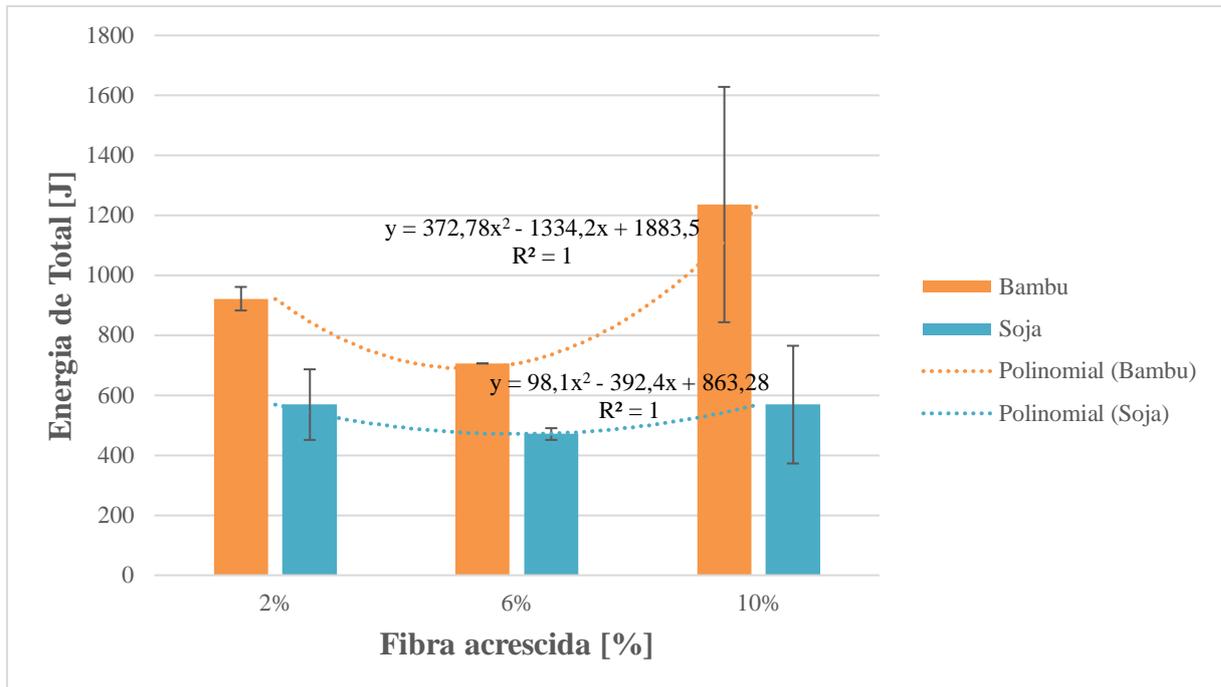


Figura 11. Ruptura de concreto reforçado com fibra de bambu.



Nos Anexos C, D e E estão indicados os resultados de quantidade de impactos, energia total e energia média, respectivamente para as fibras de Soja e Bambu. O Gráfico 3 ilustra o comportamento da energia de ruptura, com o comportamento da curva de tendência.

Gráfico 3. Variação da energia de ruptura dos corpos de prova.



Nota-se que ao comparar os Gráficos 2 e 3, o comportamento das características são semelhantes, principalmente pela Fibra de Bambu estar suscetível a suprir uma maior quantidade de energia de impactos, e cargas na sua Resistência a compressão, do que a Fibra de Soja. A Fibra de Soja possui uma curvatura semelhante entre a compressão e o impacto, com uma queda leve em 6% e subindo ao chegar em 10%, a Fibra de Bambu também demonstrou essa característica no Ensaio de Impacto, diferente da compressão que seguiu uma queda linear. Essa curva parabólica com concavidade para baixo pode ser explicada pela criação de “ouriços”, que reduz o teor de fibra distribuído na matriz, produzindo alguns pontos de fragilidade e espaços vazios como indicado por Bourguignon (2011), justificando as falhas de concretagem em 6%.

Um fato é dado pela Figura 12, onde mesmo após a ruptura do corpo no Ensaio de impacto, as fibras conseguiram manter a peça como única sem se despedaçar em diversas partes, evitando uma ruptura abrupta. Esse fato aconteceu com a maioria dos corpos, apenas alguns de 2% conseguiram se separar devido à baixa quantidade de fibras. Isso pode indicar que as fibras analisadas correspondem a tendência de aumentar a energia de tenacidade, que se espera de um concreto reforçado com fibras.

Figura 12. Corpo de prova após o Ensaio de Impacto.



À medida que o teor de lignina das fibras foi subindo, foi possível observar ganhos na tenacidade dos corpos, onde o Bambu foi o mais capaz de absorver as energias, evitando as fissuras e o ponto de ruptura.

6 CONCLUSÃO

De acordo com o que foi apresentado, a adição de fibras vegetais pode garantir condições físicas e mecânicas superiores ou iguais diante de um concreto convencional. O projeto também deu indícios de que o Teor de Lignina de uma Fibra Vegetal pode influenciar na Resistência a compressão e na absorção da energia de impacto de um compósito. Além do mais, os dados mostraram que essa relação de teor de lignina x resistência mecânica é direta, visto que, o Bambu por ter mais lignina, conseguiu atingir resultados superiores a Soja. A forma que ocorreu a ruptura do concreto reforçado sugere que há um aumento da tenacidade do material alternativa.

O concreto acrescido com 2% de fibra de bambu é o recomendado por apresentar os melhores indicativos, conseguiu ter uma absorção de energia equivalente ao de 10% dentro do desvio padrão, além de apresentar uma melhor resistência a compressão com base em seu teor de lignina. Salienta-se a importância de uma correta disposição das fibras na matriz, evitando a formação de “ouriços” no interior do compósito, o que pode inviabilizar os resultados aqui descritos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil**. São Paulo: Blücher, 2011.

AOKI, J. **Fibras para concreto. Cimento Itambé**, 2010. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/fibras-para-concreto>>. Acesso em: 16 abr. 2019.

ARDANUY, M.; CLARAMUNT, J.; TOLEDO FILHO, R. D. Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research. **Construction and Building Materials**, v. 79, n. 2015, p. 115–128, 2015. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061815000550>>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 5739. Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8953: Concreto para fins estruturais — Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. 3ª Ed. Rio de Janeiro, 2015, 3p.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: Concreto – Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13818: Placas cerâmicas para revestimento - Especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro. 1997.

BARBOSA, M. B.; PEREIRA, A. M.; AKASAKI, J. L.; FIORITI, C. F.; FAZZAN, J. V.; TASHIMA, M. M.; BERNABEU, J. J.; MELGES, J. L. P. Resistência ao impacto e à abrasão de concreto de alta resistência com cinza de casca de arroz e borracha de pneus. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**. v. 6, n. 5, p. 811-831, out. 2013.

BARBOZA, M. R.; BASTOS, P. S. **Traços de concreto para obras de pequeno porte**. FEB-UNESP, [S.L], 2013. Disponível em: <http://www.feb.unesp.br/pbastos/site_paulo/Artigo%20Tracos%20Concreto-Paulo%20Bastos.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2018.

BAVARESCO, B. E. **Avaliação da eficiência de um minhocário aplicado a resíduos gerados na cidade de Porto Alegre – RS**. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2016.

BEHERA, M.; BHATTACHARYYA, S. K.; MINOCHA, A. K.; DEOLIYA, R.; MAITI, S.. Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete – A breakthrough towards sustainability in construction sector: A review. **ScienceDirect**, [S.L], 15./out. 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061814007181?via%3Dihub>>. Acesso em: 01 mar. 2018.

BONATO, M. M.; BRAGANÇA, M. D’O. G. P.; PORTELLA, K. F.; VIEIRA, M. E.; BRONHOLO, J. L.; DOS SANTOS, J. C. M.; CERQUEIRA, D. P. Argamassas fotocatalíticas e concretos com adição de fibras de coco e sisal para a redução de impactos ambientais de gases poluentes. **Cerâmica**, São Paulo, v. 60, n. 356, p. 537-545, 2014.

BORGES, A. P. S. N.; MOTTA, L. A. C.; PINTO, E. B. Estudo das propriedades de concretos com adição de fibras vegetais e de polipropileno para uso em paredes estruturais. **Matéria**. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1517-707620190002.0679>>. Acesso em: 21 out 2021.

BOURGUIGNON, A. S. **Caracterização de concreto reforçado com fibras pela técnica de microtomografia computadorizada por transmissão de raios X**. 2011. 81 f. Dissertação (Mestrado em Materiais não-metálicos; Física e mecânica dos materiais) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, 2011.

BRASIL. [Constituição (1988)]. Constituição da República Federativa do Brasil: promulgada em 5 de outubro de 1988.

BRASIL. **Aumento da produção de lixo tem custo ambiental**. Senado Federal. 2019. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/emdiscussao/edicoes/residuos-solidos/mundo-rumo-a-4-bilhoes-de-toneladas-por-ano>>. Acesso em: 16 out 2021.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, São Paulo, v. 61, n. 358, p. 178-189, jun. 2015. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-9132015000200178&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 12 abr. 2018.

CALISTER, W. D. Jr. Compósitos. In: **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5ª. Ed. LTC Editora. Rio de Janeiro, 2000, p. 358-382.

CÂMARA, G. M. S. **Produção de cana, mandioca e soja. Introdução ao agronegócio soja, Piracicaba**, 2015. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4484506/mod_resource/content/0/LPV%200584%202017%20-%20REVISAO%20Soja%20Apostila%20Agronegocio%20%282%29.pdf> Acesso em: 25 set de 2021.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos - Safra 2018/19 – Décimo primeiro levantamento**, v. 6, n. 11. 107p. 2019.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL – CBCS. **Materiais, Componentes e a Construção Sustentável**. São Paulo, 2009.

DE PASSOS, P. N. C. A CONFERÊNCIA DE ESTOCOLMO COMO PONTO DE PARTIDA PARA A PROTEÇÃO INTERNACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Revista Direitos Fundamentais & Democracia**. Universidade Brasil. v. 6. 2009.

DIAS, E. dos S. OS (DES) ENCONTROS INTERNACIONAIS SOBRE MEIO AMBIENTE: DA CONFERÊNCIA DE ESTOCOLMO À RIO+20 - EXPECTATIVAS E CONTRADIÇÕES. **Caderno Prudentino de Geografia**, [S.l.], v. 1, n. 39, p. 06-33, ago. 2018. ISSN 2176-5774. Disponível em: <<https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/3538>>. Acesso em: 21 out. 2021.

DORTE, R. P. **Investigação de fungos ligninolíticos na produção de lacase utilizando lignina Kraft e borra de café**. 2019. 91folhas. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2019.

DW. Global footprint network and biocapacity accounts, 2021. Disponível em: <<https://www.dw.com/en/earth-overshoot-day-moves-forward-by-nearly-a-month/a-58612967>>. Acesso em: 16 out 2021.

EMBRAPA. **Dados econômicos.** 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

ELKINGTON, J. Enter the Triple Bottom Line. Chapter 1 -**The triple bottom line: does it all add up?**. 2004. Disponível em: <<http://www.johnelkington.com/archive/TBL-elkington-chapter.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

FERREIRA, L. E. Compósitos cimentícios híbridos de microconcreto. **Revista Sul-Americana de Engenharia Estrutural.** 4. 33-49. 2007.

FROESTAD, J.; SHEARING, C. Energy and the Anthropocene: security challenges and solutions. *Crime, Law and Social Change* v. 68, n. 5, p. 515–528, dez. 2017. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s10611-017-9700-8>>. Acesso em: 28 set. 2021.

GAZZOLA, J.; SILVA, K. I. L.; DANNO, H. S.; MOREIRA, F. S. ANÁLISE DE QUALIDADE FÍSICA E MECÂNICA DE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRA DE PALHA DE SOJA. *In: Congresso Brasileiro Digital de Geotecnia e Meio Ambiente (CBDGeoMA-2020).* São Carlos, 2020.

GUIMARÃES, D.; DA SILVA FILHO, L. C. P.; PACHECO, A. R. Pisos industriais em concreto armado: determinação de teores ótimos de fibras de aço e polipropileno em ensaios mecânicos. *In: CBC, 53, Florianópolis. Anais do 53º Congresso Brasileiro de Concreto,* 2011.

HOPPEN, C.; PORTRELLA, K. F.; JOUKOSKI, A.; BARON, O.; FRANCK, R.; SALES, A.; ANDREOLI, C. V.; PAULON, V. A. “Co-disposição de lodo centrifugado de Estação de Tratamento de Água (ETA) em matriz de concreto: método alternativo de preservação ambiental”. **Cerâmica**, vol. 51, no 318, junho de 2005, p. 85–95.

IZQUIERDO, I. S. **Uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural.** 2011. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. doi:10.11606/D.18.2011.tde-05042011-164738. Acesso em: 2021-10-22.

KRELING, M. T. **Aterro sanitário da extrema e resíduos sólidos urbanos domiciliares: percepção dos moradores** - Porto Alegre - RS. 2006. lume.ufrgs.br, <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/7908>.

JACÓE, R. B.; PEDERSOLI, S. P.; RODRIGUES, C. de S. (2017). CARACTERIZAÇÃO DE FIBROCIMENTOS COM FIBRA DE BAMBU OBTIDA POR DIFERENTES MÉTODOS DE POLPAÇÃO. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, 3(8), 1088-1096. <https://doi.org/10.18540/jcecv13iss8pp1088-1096>

JACOSKI, C. A.; GUARNIERI, G.; TONET, L.; GEHLEN, M. **Prospecção Tecnológica de concreto com adição de fibras**. Rede NIT-NE, v.7, n3, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.9771/S.CPROSP.2014.007.037>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

LEMOS, A. M.; FRENDEMBERG, F. C. Estudo da utilização de fibra de coco em vigas de concreto. **Engineering Sciences**, v.7, n.2, p.1-8, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2019.002.0001>

LENHANI, G. C., HACKBART, H.C.S., SANTOS, D. F., PINTO, V. Z. **EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CELULOSE DE PALHADA DE SOJA**. IV Congresso Sul Brasileiro de Engenharia de Alimentos. 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/David-Dos-Santos-3/publication/344286001_EXTRACAO_E_CARACTERIZACAO_DE_CELULOSE_DE_PALHADA_DE_SOJA/links/5f63747b458515b7cf39cbd6/EXTRACAO-E-CARACTERIZACAO-DE-CELULOSE-DE-PALHADA-DE-SOJA.pdf>. Acesso em: 17 out, 2021.

LIMA, M. M.; DE MIRANDA, M. G.; DUSEK, P. M.; AVELAR, K. E. S. “A QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL SOB O TRIPÉ DA SUSTENTABILIDADE”. **Semioses**, vol. 13, no 3, setembro de 2019, p. 76–86. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.15202/1981996x.2019v13n3p76-86>.

MACEDO, A. R. S.; SILVA, A. S.; DA LUZ, D. S.; FERREIRA, R. L. S.; LOURENÇO, C. S.; COMES, U. U. Study of the effect of diatomite on physico-mechanical properties of concrete. **Cerâmica**, São Paulo, v. 66, n. 377, p. 50-55, Mar. 2020.

MATOS, A. T. **Curso sobre tratamento de resíduos agroindustriais**. [s.l.]:[s.n.], 2005. Disponível em: < <https://www.docsity.com/pt/tratamento-de-residuos-agroindustriais/4712959/>>.

MESCHEDE, D. K.; VELINI, E. D.; CARBONARI, C. A.; moraes, c.p. teores de lignina e celulose em plantas de cana-de-açúcar em função da aplicação de maturadores. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 30, n. 1, p. 121-127, 2012.

MILARÉ, Édís. **Direito do ambiente**, 9ª ed. rev., atual. e ampl. – São Paulo: Editora **Revista dos Tribunais**, 2014.

MONTEIRO FILHA, D. C.; COSTA, A. C. R.; ROCHA, E. R. P. **Perspectivas e desafios para inovar na construção civil**. BNDES Setorial 31, p. 353-410, 2010. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3110.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2019.

MONTEIRO, S. N., D'ALMEIDA, J. R. M. Ensaio de *Pullout* em Fibras Lignocelulósicas – Uma Metodologia de Análise. **Revista Matéria**, v. 11, n. 3, pp. 189 – 196, 2006.

MOREIRA, A. C. de O. Caracterização de *Bambusa vulgaris* Schard. ex J.C. Wendl. var. *vulgaris*, e dos resíduos de caldeira no processo de conversão térmica de energia. 2012. xi, 61 f., il. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) —Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

OLIVEIRA, C. A. S.; GOUVEIA, L. L. A.; TEIXEIRA, R. L. P. CONCRETO ESTRUTURAL COM ADIÇÃO DE FIBRAS VEGETAIS. **Construindo**. v. 6. 2015.

OLIVEIRA, M. S. de. **Desenvolvimento e caracterização de telhas cimentícias reforçadas com tecido de fibras vegetais da Amazônia**. Tese (Mestrado) – Universidade Federal do Amazonas. Manaus. p. 26. 2017.

ONU. **População mundial deve ter mais 2 bilhões de pessoas nos próximos 30 anos**. 2019. Disponível em: < <https://news.un.org/pt/story/2019/06/1676601>>. Acesso em: 16/10/2021.

PIRES, Y.; OLIVEIRA, N. **Aumento da produção de lixo no Brasil requer ação coordenada entre governos e cooperativas de catadores**. Agência Senado. 2021. Disponível em: < <https://www12.senado.leg.br/noticias/infomaterias/2021/06/aumento-da-producao-de-lixo-no->

brasil-requer-acao-coordenada-entre-governos-e-cooperativas-de-catadores>. Acesso em: 16 out 2021.

PNRS - POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Presidência da República, 1998. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: Setembro de 2020.

RAABE, J. **Compósitos de fibrocimento com fibras de polpa celulósica modificada com nano-sílica**. 2019. xvii, 134 f., il. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) — Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

SALIBA, E. O. S.; RODRIGUEZ, N. M.; MORAIS, S. A. L.; PILÓ-VELOSO, D. LIGNINAS – Métodos de obtenção e caracterização química. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.5, p.917-928, 2001.

SANTOS, A. C. **Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a partir da reciclagem de pneus com aplicação em placas pré-moldadas**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2005.

SAVASTANO JÚNIOR, H. **Materiais à base de cimento reforçado com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo**. 152p. Tese (Livre Docência em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

SCHNEIDER, V, E. PERESIN, D., TRENTIN, A. C.; BORTOLIN, T. A.; SAMBUICHI, R. H. R. **Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas**. IPEA, Brasil. 2012.

SCOLARI, D. D. G. **Produção agrícola mundial: o potencial do Brasil. 2006**. Disponível em <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/417182>>.

SENAR MS. **O bambu é uma alternativa para recuperação das áreas degradadas nas propriedades rurais de MS**. 2014. Disponível em: <<http://senarms.org.br/com-40-mil-hectares-ms-possui-a-3a-maior-area-de-bambu-nativo-do-brasil/>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

TAMAKI, L. Reforço de Fibra. **Revista Técnica**, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/170/artigo215441-3.asp>>. Acesso em: 09 abr. 2019.

TUTIKIAN, B, F.; HELENE, P. Dosagem dos Concretos de Cimento Portland. **IBRACON**, [S.L], p. 38, 2011. Disponível em: <<http://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc56.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

UNEP. **United Nations Environment Programme. Environmental Impact Assessment Training Resource Manual**. Genebra – Suíça: Unep/The Economics & Trade Branch, 2002.

VIOLA, E.; BASSO, L. “O SISTEMA INTERNACIONAL NO ANTROPOCENO”. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, vol. 31, no 92, agosto de 2016, p. 01. DOI.org (Crossref), doi:10.17666/319201/2016.

ZANTA, V. M.; FERREIRA, C. F. A. **Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. 2013. Disponível em: < <http://limpezapublica.com.br/textos/livroprosab.pdf>>. Acesso em: 21 out 2021.

**ANEXO A - DADOS DE MASSA ESPECÍFICA (G/CM³) CARACTERÍSTICA
DOS CORPOS DE PROVA.**

	0%	2%		6%		10%	
		Bambu	Soja	Bambu	Soja	Bambu	Soja
γ - C1	2,39	2,38	2,41	2,35	2,39	2,33	2,36
γ - C2	2,4	2,43	2,36	2,36	2,37	2,38	2,37
γ - C3	2,42	2,42	2,37	2,4	2,39	2,39	2,37
γ - C4	2,43	2,41	2,36	2,36	2,28	2,33	2,38
γ - C5	2,41	2,41	2,37	2,48	2,33	2,29	2,4
γ - C6	2,34	2,38	2,36	2,36	2,38	2,35	2,28
$\gamma_{\text{médio}}$	2,4	2,4	2,366	2,39	2,36	2,34	2,36
Desvio-padrão	0,029	0,018	0,019	0,044	0,039	0,034	0,038

ANEXO B - DADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA (MPA).

	0%	2%		6%		10%	
		Bambu	Soja	Bambu	Soja	Bambu	Soja
C1	22,71	30,89	26,83	28,37	27,52	26,58	26,62
C2	31,13	33,08	26,34	29,21	28,45	29,57	25,23
C3	30,14	33,96	29,85	30,97	26,36	30,64	28,2
C4	30,2	34,51	31,89	31,83	19,94	27,75	27,36
C5	31,85	36,28	25,8	33,34	24,58	29,09	30,85
C6	32,15	25,12	30,43	31,61	22,17	31,94	24,68
Média	29,63	32,31	28,52	30,89	24,84	29,26	27,15
Desvio-padrão	3,21	3,6	2,3	1,66	2,99	1,76	2,04

ANEXO C – QUANTIDADE DE IMPACTOS POR CORPO.

	Quantidade de Impactos			
	Soja		Bambu	
	C1	C2	C1	C2
2%	23	35	49	45
6%	23	25	36	36
10%	19	39	43	83

ANEXO D – ENERGIA TOTAL.

	Energia Total (J)					
	Soja		Bambu		Soja	Bambu
	C1	C2	C1	C2	DP	DP
2%	451,26	686,7	961,38	882,9	117,72	39,24
6%	451,26	490,5	706,32	706,32	19,62	0
10%	372,78	765,18	843,66	1628,46	196,2	392,4

ANEXO E – MÉDIA DA ENERGIA TOTAL.

	Média da Energia Total (J)	
	Soja	Bambu
2%	568,98	922,14
6%	470,88	706,32
10%	568,98	1236,06