

CAROLAINÉ SILVA MATOS

**USO DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEUS EM CONCRETO PARA
FUNDAÇÃO EM CASAS POPULARES: UMA CONTRIBUIÇÃO À
SUSTENTABILIDADE LOCAL**



**UNIVERSIDADE CATÓLICA DOM BOSCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO LOCAL -
MESTRADO
CAMPO GRANDE - MS
2024**

CAROLAINÉ SILVA MATOS

**USO DE RESÍDUOS DE BORRACHA DE PNEUS EM CONCRETO PARA
FUNDAÇÃO EM CASAS POPULARES: UMA CONTRIBUIÇÃO À
SUSTENTABILIDADE LOCAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Local da Universidade Católica Dom Bosco, como requisito final para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Local, sob a orientação do Professor Doutor Reginaldo Brito da Costa.



O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (Capes) - Código de Financiamento 002.

UNIVERSIDADE CATÓLICA DOM BOSCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO LOCAL -
MESTRADO
CAMPO GRANDE - MS
2024

M425u Matos, Caroline Silva

Uso de resíduos de borracha de pneus em concreto para fundação em casas populares: uma contribuição à sustentabilidade local/ Caroline Silva Matos sob orientação do Prof. Dr. Reginaldo Brito da Costa.-- Campo Grande, MS : 2024.

69 p.: il.

Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Local) - Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande- MS, 2024

Bibliografia: p. 13- 22

1. Concreto. 2. Fundação. 3. Radier. 4. Sustentabilidade. 5. Desenvolvimento local. 6. Compressão I.Costa, Reginaldo Brito da. II. Título.

CDD: 628.4

FOLHA DE APROVAÇÃO

Título: “Uso de resíduos de borracha de pneus em concreto para fundação em casas populares: uma contribuição à sustentabilidade local”

Área de concentração: Desenvolvimento Local em Contexto de Territorialidades.

Linha de Pesquisa: Políticas Públicas e Dinâmicas de Inovação em Desenvolvimento Territorial.

Dissertação submetida à Comissão Examinadora designada pelo Conselho do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Local – Mestrado Acadêmico da Universidade Católica Dom Bosco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Local.

Exame de Defesa aprovado em: 27/02/2024

A presente defesa foi realizada na sala de defesa, Eu, Reginaldo Brito da Costa, como presidente da banca assinei a folha de aprovação com o consentimento de todos os membros, ainda na presença destes.



Prof. Dr. Reginaldo Brito da Costa (orientador)
Profa. Dra. Rocheli Carnaval Cavalcanti (UCDB)
Prof. Dr. Rildo Vieira de Araújo (IFMT)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, aquele que é, e que era, e que há de vir, o todo poderoso Deus, pela sua infinita bondade, por minha vida e por suas bênçãos que foram e são infinitas.

Aos meus pais, Márcia e Wagner, aos quais devo a minha vida, esses que me apoiaram, me incentivaram, estiveram presentes em todos os momentos, que me deram palavras de consolo, que são minhas raízes, meu porto seguro, minha fonte de energia e minha inspiração.

Ao meu amado esposo Wagner, pelo carinho, amor, cuidado, paciência e compreensão que viveu momentos de alegria e angústia ao meu lado, e se permaneceu firme para que eu não caísse, sendo meu companheiro e melhor amigo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Reginaldo Brito da Costa, por sua disponibilidade, apoio e incentivo. Por me acompanhar na realização desta pesquisa enriquecendo esta com sua grande contribuição.

Aos membros da minha banca examinadora, Prof.^a Dra. Rocheli Canaval Cavalcanti e Prof. Dr. Rildo Vieira de Araújo pelas ricas contribuições, disponibilidade e apoio.

À Prof.^a Ma. Mariel Guerreiro da Fonseca Martins e à Ma. Micaella Lima Nogueira pela disponibilidade, paciência, presteza e contribuições durante essa jornada.

À minha família, em especial à minha avó Marli, pelas orações, amor e incentivo.

Meus sinceros agradecimentos à Capes pela bolsa de estudos, que foi um incentivo no qual tornou possível a realização desta pesquisa.

MATOS, Carolaine Silva. **Uso de resíduos de borracha de pneus em concreto para fundação em casas populares: uma contribuição à sustentabilidade local.** 2024. 69 P. Dissertação (Mestrado) – Desenvolvimento Local, Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento Local, Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, 2024.

RESUMO

O aumento diário no crescimento populacional requer que tudo seja confeccionado conforme a demanda da população, logo, a produção aumenta conforme necessidade, e dentre essas estão as consideradas “essenciais” como por exemplo as de veículos automotivos e as residências. Os veículos e as moradias estão sempre em grande escala de produção, porém juntamente com esses estão vinculados outros tópicos que não podem ser deixados de lado, como os resíduos e impactos que esses geram após sua utilização. Com a crescente demanda de veículos aumentam os números de pneus, que ao ser descartado de forma incorreta pode causar grandes impactos ambientais negativos, assim como o aumento das moradias sem planos sustentáveis, ambos prejudicando a comunidade e o seu desenvolvimento local. Neste contexto, o presente estudo objetivou analisar a eficiência que a borracha proveniente do pneu pode causar em diferentes quantidades no concreto de modo técnico, econômico e sustentável, com a utilização de resíduos de borracha substituindo 5%, 7,5% e 10% do agregado miúdo da massa de concreto para fundação do tipo radier. A presente pesquisa foi realizada na cidade de Campo Grande no estado de Mato Grosso do Sul, voltada para as moradias da região, sendo essas de pequeno porte, e para o solo predominante do local (latossolo). Quanto a viabilidade técnica foi possível se observar uma redução de resistência à compressão com a adição de borracha, sendo que para o caso em específico os valores que atendiam os pré-requisitos foram apenas a substituição de 5%. Os valores obtidos no estudo de viabilidade econômica demonstram uma redução no preço total dos materiais, conforme a adição de resíduos de borracha. O estudo de sustentabilidade mostra que a destinação dos resíduos de borracha para a massa de concreto faz com que esses não sejam descartados em locais inadequados onde levariam anos para se degradar, favorecendo assim o meio ambiente e garantindo uma melhor qualidade de vida para gerações futuras.

Palavras-chave: Concreto, fundação, Radier, sustentabilidade, desenvolvimento local, compressão.

MATOS, Carolaine Silva. **Use of tire rubber waste in concrete for foundations in popular houses: a contribution to local sustainability.** 2024. 69 P. Dissertation (Masters) – Desenvolvimento Local, Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento Local, Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, 2024.

ABSTRACT

The daily increase in population growth requires that everything be made according to the population's demand, therefore, production increases according to need, and among these are those considered “essential”, such as automotive vehicles and homes. Vehicles and homes are always on a large scale of production, but alongside these are linked other topics that cannot be left aside, such as the waste and impacts they generate after their use. With the growing demand for vehicles, the number of tires increases, which, when discarded incorrectly, can cause major negative environmental impacts, as well as the increase in housing without sustainable plans, both harming the community and its local development. In this context, the present study aimed to analyze the efficiency that rubber from tires can cause in different quantities in concrete in a technical, economic and sustainable way, with the use of rubber waste replacing 5%, 7.5% and 10% of the fine aggregate of concrete mass for raft foundations. The present research was carried out in the city of Campo Grande in the state of Mato Grosso do Sul, focused on houses in the region, which are small, and on the predominant soil of the place (latosol). Regarding technical feasibility, it was possible to observe a reduction in compressive strength with the addition of rubber, and for this specific case, the values that met the prerequisites were only a 5% replacement. The values obtained in the economic feasibility study demonstrate a reduction in the total price of materials, depending on the addition of rubber waste. The sustainability study shows that the allocation of rubber waste to the concrete mass means that it is not discarded in inappropriate places where it would take years to degrade, thus benefiting the environment and ensuring a better quality of life for future generations.

Keywords: Concrete, foundation, Radier, sustainability, local development, compression.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
1 OBJETIVOS	12
1.1 Objetivo Geral	12
1.2 Objetivos Específicos	12
2 REVISÃO DA LITERATURA	13
2.1 Fundamentação teórica	13
2.1.1 Sustentabilidade, objetivos de desenvolvimento e desenvolvimento sustentável	13
2.1.2 Economia circular e logística reversa	14
2.1.3 Sustentabilidade e Desenvolvimento sustentável	14
2.1.4 Sustentabilidade e desenvolvimento local	15
2.1.5 Sustentabilidade na construção civil	15
2.1.6 Técnicas sustentáveis na construção civil	16
2.1.7 Concreto	16
2.1.7.1 Concreto simples	17
2.1.7.2 Concreto armado	17
2.1.7.3 Concreto protendido	17
2.1.8 Fundação	18
2.1.8.1 Fundações rasas	18
2.1.8.2 Fundações profundas	19
2.1.9 Radier	19
2.1.9.1 Radier em concreto armado	19
2.1.9.2 Radier em concreto protendido	20
2.1.10 Cimento	20
2.1.11 Agregado	20
2.1.12 Água	21

2.1.13 Borracha de Pneu	21
2.2 Revisão Sistemática	23
2.2.1 Introdução	23
2.2.2 Metodologia	24
2.2.3 Resultados e discussão	25
2.2.4 Considerações finais	29
2.2.5 Referências	29
REFERÊNCIAS	31
CAPÍTULO 1	34
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável	13
Figura 2 - Nuvem de palavras	28
Figura 3 - Materiais pesados e separados	45
Figura 4 - Teste de compressão	47
Figura 5 - Solos do estado de Mato Grosso do Sul	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem

CONAMA – Conselho Nacional do Meio ambiente

IBGE – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LR - Logística reversa

MS – Mato Grosso do Sul

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

ODM – Objetivos de Desenvolvimento do Milênio

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

RELAÇÃO A/C – Relação Água/Cimento

PIB – Produto Interno Bruto

INTRODUÇÃO

O crescimento demográfico ocasionou um aumento expressivo de fatores que causam impactos negativos ao meio ambiente provenientes das atividades antrópicas. Neste contexto estão inseridos os descartes incorretos de materiais em pequena e grande escala, alguns deles que demoram mais tempo para degradar que outros e, dessa forma tornam-se um grande causador de impacto ambiental.

Os pneus são um dos grandes poluentes do meio ambiente, estima-se que anualmente são descartados 800 milhões de unidades de pneus no mundo, só no Brasil cerca de 450 mil toneladas (AUBICON, 2021), e essa quantidade aumenta conforme demanda, logo, quanto maior o crescimento populacional maior será a procura por tal produto e conseqüentemente será o aumento da quantidade de descarte do mesmo. O tempo de degradação deste material é impactante, o mesmo demora cerca de 600 anos para se degradar sendo assim, um material causador de grandes danos ao meio ambiente.

A construção civil é um setor de constante crescimento no mundo, porém o mesmo tem grande influência negativa ao meio ambiente. No Brasil cerca de 40% da energia e dos recursos naturais são designados para a construção civil, além disso, tal setor é um grande causador de entulhos (MACHADO, 2010). Visando o grande impacto que o setor causa ao meio ambiente, atualmente são discutidas várias formas de práticas sustentáveis para que o setor possa se tornar mais sustentável, visando uma melhoria para o meio ambiente e conseqüentemente para a população.

Sabendo que o setor da construção civil é um grande influenciador dos impactos ambientais e tendo conhecimento que a borracha proveniente do pneu é um dos grandes poluentes do meio ambiente, sendo assim os profissionais ligados a este setor buscam práticas e técnicas de execução que possam contribuir para a diminuição dos impactos negativos causados por estes (MACHADO, 2010).

Neste contexto, o presente estudo objetivou analisar as propriedades do concreto para fundação com a substituição parcial do agregado miúdo por resíduos de borracha, com o intuito de se obter um uso alternativo e sustentável desse material.

1 OBJETIVOS

1.1 Objetivo Geral

Analisar a eficiência que borracha proveniente de pneus descartados pode causar em diferentes quantidades no concreto.

1.2 Objetivos Específicos

- Analisar a eficiência do concreto substituindo 5%, 7,5% e 10% do agregado miúdo por resíduos de borracha de pneu;
- Estimar por meio de dados simples a viabilidade técnica e econômica com a adição de borracha de pneu;
- Analisar os impactos ambientais causados pela utilização do pneu para o devido fim.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Fundamentação teórica

2.1.1 Sustentabilidade, objetivos de desenvolvimento e desenvolvimento sustentável

Ser sustentável é manter um equilíbrio entre o meio ambiente, bem-estar social e crescimento econômico, garantindo que para atender tais necessidades na geração atual não sejam comprometidas as gerações futuras. Do adjetivo sustentável vem o substantivo sustentabilidade, sendo essa as ações e conjunto de processos utilizados para a preservação dos ecossistemas, garantindo assim a eficácia no processo de ser sustentável (BOFF, 2017).

Pode-se afirmar então que a sustentabilidade é formada por um tripé, sendo esse ambiental, social e econômico, onde a parte ambiental se preocupa com o consumo dos recursos naturais e seus impactos para o meio ambiente e sociedade, já no social a preocupação se dá pela qualidade de vida da sociedade, e o aspecto econômico tenta reduzir os impactos negativos quanto ao crescimento econômico em curto, médio e longo prazo (ASSUNÇÃO, 2020).

Com o intuito de se ter um mundo mais próspero, seguro e justo, em 18 de setembro de 2000 a ONU (Organização das Nações Unidas) com apoio de 191 nações estabeleceu a ODM (Objetivos de Desenvolvimento do Milênio). Para tal foram elencados 8 objetivos, sendo esses: acabar com a fome e a miséria, oferecer educação básica de qualidade para todos, promover a igualdade entre os sexos e a autonomia das mulheres, reduzir a mortalidade infantil, melhorar a saúde das gestantes, combater a Aids, a malária e outras doenças, garantir qualidade de vida e respeito ao meio ambiente e estabelecer parcerias para o desenvolvimento.

Em setembro de 2015 foram lançados os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que é composto por 17 objetivos e 169 metas a serem atingidas até o ano de 2030. Pode-se dizer que a ODS é uma extensão da ODM com temas mais detalhados como indicados a seguir:

Figura 1 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável



Fonte: ODS - Nações unidas, 2015

2.1.2 Economia circular e logística reversa

Muitas empresas possuem o sistema econômico linear, no qual os insumos utilizados para a realização de seus produtos sigam uma linha de começo, meio e fim. Visando isso é então implementada a economia circular, que é o conceito de estabelecer estratégias para reutilização, redução, recuperação e reciclagem durante o processo de produção (MONTEIRO, 2018).

A logística reversa é uma ferramenta utilizada na economia circular, sendo que esta é o processo de se determinar ações e procedimentos para reaproveitamento de materiais, podendo esse ser utilizado para o mesmo fim, para um novo, ou até mesmo para que este produto seja descartado de forma ambientalmente correta (GUO, 2010).

2.1.3 Sustentabilidade e Desenvolvimento sustentável

A sustentabilidade é o conceito que visa soluções que assegurem o equilíbrio entre meio ambiente, desenvolvimento humano e social, sendo que este procura medidas com o intuito de preservar a natureza e os recursos por ela disponibilizada e a qualidade de vida da humanidade (HUSGAFVEL, 2021).

O desenvolvimento sustentável é o método que procura práticas e ações para encontrar um equilíbrio entre a sociedade, meio ambiente e economia (GLAVIC; KRAJNC; SELJAK, 2004).

A sustentabilidade e o desenvolvimento sustentável são conceitos que se relacionam, porém, a sustentabilidade é uma visão mais ampla, ou seja, o desenvolvimento sustentável é o conceito que traz consigo estratégias para chegar até a sustentabilidade.

2.1.4 Sustentabilidade e desenvolvimento local

Atualmente o ato de se pensar e/ou planejar um desenvolvimento está voltado para um lado mais humano, visando que a comunidade será contemplada diretamente com as escolhas feitas. Sabendo disso, o desenvolvimento se torna mais ativo, com as pessoas participando do mesmo, não apenas aguardando para ser beneficiado.

O desenvolvimento deixou de ser apenas um evento se tornando também um conceito, resultante dos pensamentos ativos da humanidade, com o intuito de melhorar a qualidade de vida e ambiente de entorno da comunidade (MARTINS, 2022).

A sustentabilidade e o desenvolvimento local trabalham lado a lado, pois a sustentabilidade traz consigo vantagens para a comunidade quanto a vários interesses comuns. Dessa forma, desenvolvimento local está interligado de forma desejável à responsabilidade social de tal forma que os objetivos sejam socialmente justos e tecnicamente viáveis para a população (MELLO et al., 2022).

2.1.5 Sustentabilidade na construção civil

A construção civil é uma das áreas mais antigas do mundo. Conforme Algarvio (2009) indica que tal atividade tem evidências por volta de 4000 a 2000 anos a.C., sendo que as primeiras construções ocorreram, possivelmente, nas pirâmides no Egito. As indicações dessas construções estão relacionadas ao crescimento populacional, com relevância os aspectos de moradias e trabalho, desde a antiguidade até os dias atuais (KARPINSK et al., 2009).

A revolução industrial foi fundamental para a expansão da construção civil, esse momento acabou mecanizando o processo de produção, favorecendo a geração e utilização de materiais como aço, concreto, dentre outros materiais essenciais para a construção, favorecendo assim o movimento acelerado de tal atividade (ALGARVIO, 2009).

O ramo da construção tem grande importância no desenvolvimento do país, sendo responsável pela geração de empregos, além de ser um dos setores em constante crescimento influenciando assim no desenvolvimento econômico. Dados tem demonstrado essa realidade, tais como aqueles de 2021 onde a indústria da construção civil movimentou cerca de 365,3 bilhões de reais em receita líquida com participação de 10,3% do PIB do país (IBGE, 2021).

Com o aumento da concorrência entre empresas desse ramo, além de clientes cada vez mais exigentes, a produção sustentável acabou se tornando um diferencial. Para isso existem várias práticas e tecnologias que tornam uma construção convencional em uma construção sustentável (ROQUE, 2018).

Ao se utilizar práticas sustentáveis as empresas garantem menores impactos negativos ao meio ambiente, satisfação dos clientes, economia na construção, além de dar uma boa imagem a reputação da empresa (ROQUE, 2018).

2.1.6 Técnicas sustentáveis na construção civil

A construção civil sustentável tem como principal objetivo minimizar impactos negativos causados pelas construções convencionais, para isso são utilizadas técnicas sustentáveis, dentre essas estão: reciclagem de materiais, uso de novos materiais e tecnologias na construção, consumo racional de água, utilização de fontes de energia alternativa como a solar, a eólica e geotérmica, dentre outros.

A escolha de qual técnica utilizar vai depender da disponibilidade de materiais, mão de obra qualificada, conhecimento sobre a tecnologia escolhida, a necessidade do cliente na atualidade, além de não comprometer as gerações futuras.

2.1.7 Concreto

O concreto é composto por cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água. Além disso, o concreto pode ter a adição de outros materiais com finalidades diversas, porém

mantendo as propriedades necessárias para atender cada caso em qual for utilizado (NILSON, 2010). A quantidade de cada material é determinada conforme sua necessidade por um profissional qualificado (ARQUEZ, 2010).

2.1.7.1 Concreto simples

O concreto simples é o composto que não apresenta nenhum tipo de armadura, ou seja, apenas elaborado com os materiais essenciais para que a mistura seja considerada concreto (BASTOS, 2019).

2.1.7.2 Concreto armado

Visando a necessidade de resistência e durabilidade necessárias nas estruturas, a pedra é um material utilizado no concreto, sendo este bem visto devido às suas características, porém as mesmas são boas apenas em relação a compressão, mas as estruturas necessitam também de uma boa resistência a tração, logo, um material com essa característica é o aço, a junção desses elementos é denominada de concreto armado (PFEIL, 1989).

Esse tipo de concreto é composto pelo concreto e por armadura, onde estes são utilizados em conjunto, sendo que a armadura não foi aplicada a nenhum tipo de alongamento inicial ao estado final do concreto endurecido (BASTOS, 2019).

O concreto armado é um composto com diversas qualidades, dentre elas estão: durabilidade, boa resistência à tração e compressão, baixo custo, resistência à água e ao fogo. Logo, o concreto armado é um material que permite a construção de edificações de diversos tamanhos além de permitir a elaboração de diversas formas, atendendo as mais variadas obras (FERRARI, 2007).

2.1.7.3 Concreto protendido

O concreto protendido surgiu através do concreto armado, onde a peça de concreto e armadura são realizados através do mesmo processo do concreto armado, porém a armadura tem um alongamento prévio (BASTOS, 2019).

2.1.8 Fundação

Uma edificação é composta por um conjunto de elementos estruturais que transmitem seus esforços, sendo estes transmitidos dos elementos superiores para os inferiores, ou seja, da estrutura do telhado para as vigas, das vigas para os pilares, e por fim nas fundações e todas as cargas são assim absorvidas pelo solo.

As fundações são elementos estruturais que transmitem as forças da edificação para o solo, logo, uma sobrecarga pode resultar em grandes recalques, danificando assim a estrutura como um todo (BRAJA, 2007). Sabendo disso é fundamental que seja escolhida uma fundação que atende por completo as necessidades de cada caso.

Para que seja escolhida a fundação correta é necessário que seja elaborado um projeto de fundação, e para isso é necessário que o projetista tenha conhecimento do perfil topográfico da área que essa será realizada, além dos projetos que indicarão a dimensão, sabendo da interação conjunta de ambos os elementos (HACHICH et al, 1998). A dimensão da estrutura se refere a carga da mesma, já o perfil topográfico indica as propriedades mecânicas e físicas de cada camada do solo no terreno.

Existem dois tipos de fundações, as denominadas rasas ou diretas e as profundas, cada uma apresenta suas características, e são utilizadas dependendo da necessidade.

2.1.8.1 Fundações rasas

As fundações rasas são elementos nos quais transmitem as cargas diretamente ao terreno através de sua base (MOREIRA, 2011). A base de tais fundações podem ser de diversas formas, como quadrada, retangular, circular ou até mesmo irregular.

Segundo a NBR 6122 (1996), existem vários tipos de fundações rasas, dentre essas estão: sapata, bloco, radier, sapata associada e sapata corrida. Esse tipo de fundação é utilizada em edificações de pequeno e médio porte, em solos com alto teor de argila (SCHNEIDER, 2020).

2.1.8.2 Fundações profundas

Conforme a NBR 6122 (1996), às fundações profundas são aquelas às quais as cargas são transmitidas para o solo de duas maneiras: pela base e pela lateral, podendo ser de apenas um dos dois modos ou o conjunto desses.

O material de tais estacas podem ser aço, madeira, concreto pré-moldado, concreto moldado in loco ou pela combinação destes. Tais estacas são geralmente utilizadas em edificações de média a grande porte, e/ou em solos com maior resistência em camadas mais profundas.

2.1.9 Radier

A fundação do tipo radier é composta por uma laje de concreto, para o apoio da mesma é utilizado o próprio solo nivelado. Essa laje sustenta a carga da edificação como um todo, sendo toda essa carga lançada para a laje na qual descarrega para o solo em uma grande área, logo, para esse tipo de fundação não há necessidade de escavação.

Segundo Dória (2007), as lajes de tal fundação pode ser de espessura uniforme ou variável, além de ser em concreto simples, armado e protendido. O tipo de concreto a ser utilizado assim como as dimensões da laje depende do tipo de edificação, visando suas necessidades, devendo atender todas sem exceção.

2.1.9.1 Radier em concreto armado

O radier em concreto armado é constituído por telas ou malhas de aço, aparentando ser uma laje concretada, dentre as fundações do tipo radier esse é o modelo mais simples. Segundo Peck et al. (1974), esse tipo de fundação é recomendado para construções de pequeno porte e para solos de média a baixa resistência. Esse tipo de fundação apresenta vantagens como rapidez da execução e baixo custo.

2.1.9.2 Radier em concreto protendido

O radier em concreto protendido é composto por concreto armado, onde tais armaduras trabalham de forma ativa. Segundo Dória (2007), as armaduras de tal fundação são tracionadas com o auxílio de um macaco hidráulico antes de receberem a carga da estrutura. Tal fundação tem bom histórico quanto a sua utilização em solos estáveis, com boa durabilidade.

2.1.10 Cimento

O cimento teve sua origem na Inglaterra no ano de 1824, porém a sua produção em indústria teve início em 1850. Este material é um pó fino com materiais aglomerantes, que ao ser adicionado água torna-se pastoso e após um tempo chega ao seu estado endurecido. Esse material não volta ao seu estado pastoso, mesmo que submetido novamente a ação da água.

O principal elemento do pó de cimento é o clínquer, esse material é uma mistura de rocha calcária e argila, onde o mesmo é moído e levado ao forno em alta temperatura e posteriormente ao resfriamento, com esse processo é adquirido então “pelotas” de clínquer. Após o processo de formação do clínquer, o mesmo é moído e adicionado de 3% a 5% de sulfato de cálcio, formando então o cimento (BATTAGIN, 2011).

Além do cimento comum, também existem os cimentos compostos. Para que o cimento seja considerado composto são adicionados outros materiais durante o processo durante a moagem do clínquer, dentre essas adições estão o gesso, escória de alto-forno, fíler de calcário, materiais carbonáticos e pozolânicos. Esses materiais são adicionados ao processo de fabricação do cimento para que sejam modificadas as suas propriedades, sendo que cada material tem diferentes ações, logo, ao se comprar um cimento composto é necessário que se tenha conhecimento da ação causada por cada adição, e verificar então se esse atende ao intuito desejado (BATTAGIN, 2011).

2.1.11 Agregado

Os agregados são materiais granulares e inertes (sua composição não muda conforme o passar do tempo). Esses materiais constituem cerca de 70% a 80% da massa de concreto, tendo

grande importância pois estes influenciam diretamente nas propriedades do mesmo (BAUER, 2000).

Existem dois tipos de agregados, os graúdos e os miúdos, estes são classificados conforme a sua granulometria. Os agregados graúdos são aqueles que ao se submeter ao peneiramento passam na malha de 152 mm e ficam retidos da malha de 4,75 mm, já os agregados miúdos passam pela peneira com malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira de 0,075mm (BASTOS, 2019).

No comércio são encontrados agregados graúdos conforme a sua granulometria, sendo nomeados de, brita 0, brita 1 e brita 2, estes são definidos conforme a sua granulometria, adquiridos através de ensaios laboratoriais e curva granulométrica (BASTOS, 2019).

2.1.12 Água

A água é responsável pelas reações químicas do concreto, através dessa é obtida a trabalhabilidade da massa, além de ser o elemento necessário para o processo de endurecimento desta, logo, através dessas reações que o concreto adquire sua resistência, dando assim durabilidade para as estruturas (BASTOS, 2019). Ao se misturar a água com os demais compostos do concreto se obtém uma pasta, tornando assim possível trabalhar com mais facilidade (ISAIA, 2011).

2.1.13 Borracha de Pneu

A espécie arbórea amazônica seringueira (*Hevea brasiliensis*) é a principal fonte natural da borracha da qual é extraído o látex. Os pneus utilizados são compostos por uma mistura de borracha natural e borracha sintética. Para extração dessa matéria, são feitos cortes na superfície do caule da planta até o surgimento de um líquido, o mesmo é deixado ali até que haja a coagulação e secagem, após esse processo o material é recolhido, aquecido e processado, surgindo assim a borracha (ASSUNÇÃO, 2020).

A criação do pneu de borracha se deu primeiramente pela invenção do processo de vulcanização, em 1839 Charles Goodyear descobriu tal processo, que se dá pelo cozimento da

borracha em alta temperatura (ASSUNÇÃO, 2020). A partir de tal descoberta, em 1845 Robert William Thomson criou o pneu de borracha com câmara de ar (ANDRADE, 2007).

Após a criação dos pneus de borracha os pneus de madeira e ferro foram sendo substituídos, pois os pneus de borracha apresentavam características atrativas, tais como: resistência a abrasão, elasticidade, durabilidade e, principalmente por serem mais confortáveis, absorvendo melhor os impactos causados pelo solo.

Com o avanço da tecnologia, a Alemanha encontrou métodos para realizar o processo de fabricação da borracha artificialmente através do petróleo, obtendo, dessa forma, a borracha sintética. Este produto é similar à borracha natural, porém, apesar de toda tecnologia em tal processo, a mesma não tem tanta resistência as temperaturas, tanto para altas temperaturas, quanto para baixas temperaturas (ASSUNÇÃO, 2020). Portanto, havendo necessidade de um percentual de borracha natural na composição.

Conforme mudanças, novas tecnologias, novos processos e descobertas, a produção dos pneus foram se modificando. Os primeiros pneus eram produzidos em sua totalidade utilizando borracha natural (extraída das seringueiras). Em 1830 uma parcela do composto foi substituída por borracha sintética e, atualmente a fabricação de pneus é composta de borracha natural (10%), borracha sintética (30%) com adição de tecidos e aço (60%) (RAMOS, 2005).

Conforme a resolução CONAMA n.º. 416/2009, existem diversas definições para produto: pneu ou pneumático, pneu novo, pneu usado e pneu inservível. É definido como um componente de rodagem, constituído de diversos materiais, contendo fluídos sob pressão, no qual é montado nas rodas do veículo sustentando assim a carga do mesmo e resistindo à pressão causada pelo solo.

Segundo Andrade (2007), no Brasil, mais de 50% das borrachas produzidas são destinadas para a produção de pneus, sendo que dessa porcentagem 25% são de borrachas naturais e 75% de borrachas sintéticas. Além disso, os demais materiais utilizados para a produção dos pneus são dosados conforme sua finalidade. Em relação a borracha presente nos pneus as dosagens são de aproximadamente 48% nos pneus automotivos e 45% nos pneus de caminhão. Segundo Silva (2019), cerca de 70% da produção nacional de borracha é voltada para a produção de pneus.

2.2 Revisão Sistemática

2.2.1 Introdução

O pneu é um item de extrema importância para a circulação de insumos e pessoas desde a sua criação até a atualidade. Tal produto é comercializado constantemente, tendo aumento devido a diversos fatores, estando em evidência o crescimento populacional.

O crescimento populacional e o desenvolvimento de diversas atividades estão diretamente vinculados a veículos que utilizam pneus, tais como para se locomover, obter e transportar insumos e até mesmo para conforto e lazer. Ao se analisar diversas atividades ali estão ou está presente no mínimo um meio no qual se utiliza pneu para ser realizada. Logo, é possível se identificar de imediato a necessidade de tal material para a população, e identificar que quanto maior a população maior será a busca e necessidade por este.

O pneu é utilizado até que este atinja o máximo da sua vida útil, tornando-se assim um material inservível, necessitando ser descartado. Ao se descartar um pneu em local inadequado o mesmo deixa de ser um material que traz benefícios para um material que traz grandes impactos negativos para a população, por diversos motivos, tais como: difícil degradação, causador de impactos ambientais negativos, abrigo para animais peçonhentos, mosquitos e outros animais passíveis de transmitir doenças, contaminação do ar e o lençol freático, entre outros.

Visando a necessidade de se haver uma destinação adequada para os pneus, em 26 de agosto de 1999 foi instituída a resolução CONAMA nº258, tornando assim obrigatório que as empresas pneumáticas coletassem e dessem destinação final adequada para os pneus inservíveis, tanto para fabricantes quanto para importadores, além de atualmente ser obrigatório ao menos um ponto de coleta em municípios acima de 100.000 habitantes.

Devido a isso foi automaticamente instalado um ciclo de logística reversa na qual os fabricantes e importadores de empresas pneumáticas produzem e vendem seus produtos para os comerciantes, dos comerciantes são vendidos para os consumidores, após um determinado tempo de uso estes consumidores levam tais produtos para os pontos de coletas, do ponto de coleta o material é então transportado e levado para trituração para que seja destinado para coprocessamento ou outros meios de destinação.

Devido a necessidade de uma destinação final adequada para os pneus inservíveis, diversas possibilidades estão sendo estudadas desde então para que este material seja inserido de forma eficaz em vários meios, dentre estes está o concreto, onde diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas com o intuito de identificar a viabilidade de se utilizar esse material tão vasto em outro material que é muito utilizado, sendo esses compatíveis em relação ao seu aumento e utilização conforme o desenvolvimento e crescimento populacional.

2.2.2 Metodologia

As obtenções dos dados foram realizadas através da plataforma de pesquisa *Web of Science*, sendo essa uma das principais bases utilizadas no meio científico. Com o intuito de se reunir e se aprofundar em relação ao uso de resíduos de pneu de borracha em massa de concreto, foi realizada uma pesquisa qualitativa e quantitativa em relação às pesquisas já publicadas ao redor do mundo, obtendo-se assim um conhecimento primário sobre o assunto. Após isso foram iniciadas as buscas na plataforma de pesquisa utilizando como operadores de busca as palavras "rubber waste" and "concrete" and "compression".

Com as palavras chaves inseridas foram considerados todos os anos de publicação encontrados, sendo esse de 2018 até a atualidade (2023). Desses documentos da base de dados foram filtrados e considerados apenas os documentos em inglês (sendo esse considerado universal) e deixando apenas artigos reconhecidos e publicados, retirando os de revisão, com isso visando uma base de dados mais homogênea.

Dos documentos encontrados foram consideradas as seguintes informações: nome dos autores (reduzido e completo); títulos dos artigos; nome do periódico de publicação; palavras-chave; resumo; filiação dos autores; ORCIDs; agências de fomento (quando existente); números de citação do artigo; cidade de publicação; ISSN, e D.O.I.; mês e ano; áreas; e *Pubmed Id*.

Após identificados e filtrados os artigos, utilizou-se então o software RStudio para análise dos dados obtidos, em especial o pacote bibliometrix, sendo com esse possível realizar uma análise bibliométrica completa com os instrumentos disponibilizados por este.

2.2.3 Resultados e discussão

Foram identificados 11 artigos que atendiam aos pré-requisitos estabelecidos, possibilitando, assim, a análise do perfil dos materiais ao incorporar resíduos de borracha como aditivo ao longo de um período de cerca de 5 anos.

Quadro 1 - Produções científicas

Item	Autor	Título	Resumo
1	Santos, JNS; de Melo, FMD; de Oliveira, HA; dos Santos, CP; Macedo, ZS; Almeida, VGD. 2021.	Development of lightweight concrete from expanded clay modified with tire rubber waste	Realização de concreto leve com substituição de 1%, 2,5% e 5% do agregado miúdo da massa por resíduos de borracha e 100% do agregado graúdo por argila expandida. Os materiais foram caracterizados através de testes de análise granulométrica e de massa unitária. O endurecimento foi avaliado através de ensaios mecânicos de compressão, módulo de elasticidade e resistência à tração, testes de absorção de água, massa específica e análise microscópica.
2	Werdine, D; Oliver, GA; de Almeida, FA; Noronha, MD; Gomes, GF. 2021.	Analysis of the properties of the self-compacting concrete mixed with tire rubber waste based on design of experiments	Realização de concreto auto-adensável com substituição de 10%, 30% e 50% do agregado miúdo por borracha residual de pneus sendo essa borracha separada em duas categorias granulométricas. A massa de concreto foi submetida ao teste de compressão e teste modal quanto à frequência natural, fator de amortecimento, resistência à compressão e módulo de elasticidade.
3	Santos, JNS; Almeida, VGO; Melo, FMC; de Oliveira, HÁ. 2023.	Reuse of tire waste in light concrete	Realização de concreto leve com substituição de 1%, 2,5% e 5% do agregado miúdo da massa por resíduos de borracha e 100% do agregado graúdo por argila expandida.

			Os materiais foram caracterizados através de testes de análise granulométrica e de massa unitária. O endurecimento foi avaliado através de ensaios mecânicos de compressão, módulo de elasticidade e resistência à tração, testes de absorção de água, massa específica e análise microscópica.
4	Mendonça, AMGD; Melo, OD; Rodrigues, JKG; Santos, BLD; de Lima, RKB; Silva, IM. 2022.	Analysis of the incorporation of waste tires as fine partial aggregate in concrete	Realização de concreto com substituição parcial de 10% e 20% do agregado miúdo da massa por resíduos de borracha. As propriedades do concreto foram analisadas quanto à resistência à compressão, resistência à tração e absorção de água.
5	da Silva, FM; Batista, LS; Gachet, LA; Lintz, RCC. 2022.	The Effect of Tire-Rubber Pretreatment on the Physical-Mechanical Properties and Durability of High-Performance Concrete	Realização de concreto de alta performance com substituição de 7,5%, 15% e 30% do agregado miúdo da massa por resíduos de borracha previamente tratado com carbonato de cálcio e sílica ativa. As propriedades da massa de concreto foram testadas quanto à resistência à compressão e tração, absorção de água e índice de vazios, com o intuito de evidenciar o benefício de se tratar o resíduo de borracha previamente.
6	Li, YJ; Li, C; Yu, ZC; Han, TH; Yuan, JY. 2022.	Behavior of BFRP strips confined PVC tubes with internal fillers under axial compressive load	Realização de concreto para colunas com 10% e 60% do agregado miúdo por resíduos de borracha com sistema de confinamento de PVC (policloreto de vinila) e reforço com FRP (polímero reforçado com fibra). As propriedades da massa de concreto foram analisadas quanto à resistência à compressão, tração e módulo de elasticidade.
7	Kamel, MMA; Fu, Y; Feng, XW; Peng, YJ. 2023.	Mesoscopic Analysis of Rounded and Hybrid Aggregates in Recycled Rubber Concrete	Realização de concreto com substituição de 20% do agregado miúdo por resíduos de esquemas de co-fundição de borracha arredondada combinando agregados poligonais da massa.

			O comportamento do conjunto foi analisado através de ensaios de tração e compressão uniaxial.
8	Li, HY; Jiang, HL; Zhang, WW; Liu, P; Wang, SS; Wang, F; Zhang, JZ; Yao, ZY. 2018.	Laboratory and Field Investigation of the Feasibility of Crumb Rubber Waste Application to Improve the Flexibility of Anti-Rutting Performance of Asphalt Pavement	Realização de mistura asfáltica com incorporação de borracha fragmentada. Comportamento do material avaliadas através de estudo laboratoriais através de rastreamento de rodas, flexão de 3 pontos, tração indireta e uniaxial e compressão.
9	Revelo, CF; Colorado, HA. 2021.	A green composite material of calcium phosphate cement matrix with additions of car tire waste particles	Realização de proposta de utilização de parte de resíduos de borracha como material de construção com a substituição de até 12% em peso dos resíduos de pneu incorporados ao cimento fosfatado. As amostras foram analisadas quanto a difração de raios x, força compressiva, estabilidade térmica a 50°C e 100°C, densidade e estatísticas de Weibull.
10	Laoutid, F; Lafqir, S; Toncheva, A; Dubois, P. 2021.	Valorization of Recycled Tire Rubber for 3D Printing of ABS- and TPO-Based Composites	Utilização de resíduos de borracha de pneus para impressão 3D de compósitos à base de ABS e TPO. Os compósitos foram analisados quanto alongamento ao ponto de ruptura, compressão, recuperação após compressão e impacto.
11	Yadav, JS; Tiwari, SK. 2018.	Evaluation of the strength characteristics of cement-stabilized clay-crumb rubber mixtures for its sustainable use in geotechnical applications	Incorporação de resíduos de borracha triturada em 2,5%, 5%, 7,5% e 10% e cimento em 3% e 6% quanto ao peso em solos argilosos. As características de tal incorporação foram avaliadas quanto à resistência à compressão e tração.

Fonte: Elaboração própria, 2023

Nos artigos, os resíduos de borracha foram adicionados em concreto convencional, concreto leve, concreto auto-adensável, concreto de alta performance, mistura asfáltica, em misturas de compósitos e em solos argilosos.

2.2.4 Considerações finais

Com as produções científicas encontradas foi possível verificar que os resíduos de borracha podem ser utilizados como um material alternativo para diversos fins, contribuindo assim com suas propriedades quando adicionado em quantidade adequada, visando que a finalidade do uso desse material e quem determina os valores desejados quanto aos resultados.

Dentre os 11 artigos é possível identificar que a adição desse material atendeu as demandas para todas as finalidades almeçadas quanto às diversas propriedades, variando apenas na porcentagem adicionada do mesmo. Nesse sentido, constitui-se em um procedimento desejável no contexto da logística reversa (LR).

2.2.5 Referências

DA SILVA, F. M.; BATISTA, L. S.; GACHET, L. A.; LINTZ, R. C. C. The Effect of Tire-Rubber Pretreatment on the Physical-Mechanical Properties and Durability of High-Performance Concrete, v. 34, n. 12, 2022.

KAMEL, M. M. A.; FU, Y.; FENG, X. W.; PENG, Y. J. Mesoscopic Analysis of Rounded and Hybrid Aggregates in Recycled Rubber Concrete, v. 16, n. 19, 2023.

LAOUTID, F.; LAFQIR, S.; TONCHEVA, A.; DUBOIS, P. Valorization of Recycled Tire Rubber for 3D Printing of ABS- and TPO-Based Composites, v. 14, n. 19, 2021.

LI, Y. J.; LI, C.; YU, Z. C.; HAN, T. H.; YUAN, J. Y. Behavior of BFRP strips confined PVC tubes with internal fillers under axial compressive load, v. 58, 2022.

LI, H. Y.; JIANG, H. L.; ZHANG, W. W.; LIU, P.; WANG, S. S.; WANG, F.; ZHANG, J. Z.; YAO, Z. Y. Laboratory and Field Investigation of the Feasibility of Crumb Rubber Waste Application to Improve the Flexibility of Anti-Rutting Performance of Asphalt Pavement, v. 11, n. 9, 2018.

MACHADO, R. C. Aspectos da sustentabilidade Ambiental nos edifícios estruturados em aço. 2010.

MENDONA, A. M. G. D.; MELO, O. D.; RODRIGUES, J. K. G.; SANTOS, B. L. D.; DE LIMA, R. K. B.; SILVA, I. M. Analysis of the incorporation of waste tires as fine partial aggregate in concrete, v. 13, n. 3, 2022.

REVELO, C. F.; COLORADO, H. A. A green composite material of calcium phosphate cement matrix with additions of car tire waste particles, v. 18, n. 1, p. 182-191, 2021.

SANTOS, J. N. S.; DE MELO, F. M. D.; DE OLIVEIRA, H.A.; DOS SANTOS, C.P.; MACEDO, Z. S.; ALMEIDA, V.G.D. Development of lightweight concrete from expanded clay modified with tire rubber waste, v. 36, n. 3, p. 361-368, 2021.

SANTOS, J. N. S.; ALMEIDA, V. G. O.; MELO, F. M. C.; DE OLIVEIRA, H. A. Reuse of tire waste in light concrete, v. 38, n. 2, p. 205-214, 2023.

WERDINE, D.; OLIVER, G. A.; DE ALMEIDA, F. A.; NORONHA, M. D.; GOMES, G. F. Analysis of the properties of the self-compacting concrete mixed with tire rubber waste based on design of experiments, v. 33, p. 3461-3474, 2021.

YADAV, J. S.; TIWARI, S. K. Evaluation of the strength characteristics of cement-stabilized clay-crumb rubber mixtures for its sustainable use in geotechnical applications, v. 20, n. 5, p. 1961-1985, 2018.

REFERÊNCIAS

- ALGARVIO, D. A. N. Reciclagem de resíduos de construção e demolição: contribuição para controle do processo. 2009.
- ANDRADE, H. S. Pneus inservíveis: alternativas possíveis de reutilização. Florianópolis, 2007.
- ARQUEZ, A. P. Aplicação de laminado de polímero reforçado com fibras de carbono (PRFC) inserido em substrato de microconcreto com fibras de aço para reforço à flexão de vigas de concreto armado. 2010.
- ASSUNÇÃO, A. P. C. Análise do uso de borracha de pneu como substituição parcial do agregado miúdo no concreto. Anápolis, 2020.
- AUBICON. 450 mil toneladas de pneus são descartados no Brasil por ano. Entenda o papel da aubicon para minimizar esse processo. 2021. Disponível em: <https://www.aubicon.com.br/450-mil-toneladas-de-pneus-sao-descartados-no-brasil-por-ano-entenda-o-papel-da-aubicon-para-minimizar-esse-processo/#:~:text=Anualmente%2C%20no%20Brasil%2C%20s%C3%A3o%20produzidos,o%20mesmo%20per%C3%ADodo%20em%202019>. Acesso em: 03 de junho de 2023.
- BASTOS, P. S. Fundamentos do concreto armado. 2019.
- BATTAGIN, A. F. Concreto: Ciência e Tecnologia. 2011.
- BAUER, L. A. F. Materiais de Construção. 5a ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. 2000.
- BOFF, L. Sustentabilidade, O que é - O que não é. Rio de Janeiro, 2017.
- BRAJA, M. Fundamentos da Engenharia Geotécnica. 2007.
- CONAMA. Conselho nacional do meio ambiente: resolução nº 416/2009. 2009.
- DÓRIA, L. E. S. Projeto de estrutura de fundação em concreto do tipo radier. 2007.
- FERRARI, V. J. Reforço à flexão de vigas de concreto armado com manta de polímero reforçado com fibras de carbono (prfc) aderido a substrato de transição constituído por compósito cimentício de alto desempenho. 2007.

- GLAVIC, P., KRAJNC, D. e SELJAK, J. Measuring sustainability – Index of balanced sustainable development. Slovenia. p. 335-353, 2004.
- HACHICH, W., FALCONI, F. F., SAES, J. L., FROTA, R. G. Q., CARVALHO, C. S. e NIYAMA, S. Fundações: teoria e prática. 1998.
- HUSGAFVEL, R. Exploring Social Sustainability Handprint—Part 2: Sustainable Development and Sustainability. Sustainability, p. 13, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su131911051>. Acesso em: 05 de fevereiro de 2024.
- ISAIA, G. C. Concreto: Ciência e Tecnologia. 2011.
- KARPINSK, L. A.; PANDOLFO, A.; REINEHR, R.; KUREK, J.; PANDOLFO, L.; GUIMARÃES, J. Gestão diferenciada de resíduos da construção civil - Uma abordagem ambiental. Porto Alegre, 2009.
- MARTINS, S. R. O. Desenvolvimento Local: questões conceituais e metodológicas. 2022.
- MELLO, T. T. S; BARCELOS, S. T. V.; COSTA, R. B. Caracterização e viabilidade técnica de aplicação de tijolos ecológicos em habitações populares: uma contribuição à sustentabilidade ambiental. Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais, v. 13, p. 168-178, 2022.
- MONTEIRO, M. Economia circular. Start&Go, Lisboa, p. 35, março/abril 2018. Disponível em: <https://www.startandgo.pt/pubs/startgo20>. Acesso em: 05 de fevereiro de 2024.
- MOREIRA, M. M. P. Capacidade de carga em fundações superficiais. 2011.
- NBR 6122 ABNT. Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 1996.
- NILSON, A. H., DARWIN, D. e DOLAN, C. W. Design of concrete structures. 2010.
- PECK, R. B., HANSON, W. E. e THORNBURN, T. H. Foundation Engineering. 1974.
- PFEIL, W. Concreto armado. Rio de Janeiro, 1989.
- ROQUE, R. A. L., e PIERRI, A. C. Uso inteligente de recursos naturais e sustentabilidade na construção civil. 2018.
- SILVA. I. Z. L. Avaliação do ciclo de vida borracha. 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/239903/ACV-Borracha.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 27 de setembro de 2023.

SCHNEIDER, N. Fundações Rasas. 2020. Disponível em: <https://nelsoschneider.com.br/fundacoes-rasas/>. Acesso em: 21 de junho de 2023.

CONAMA. Conselho nacional do meio ambiente: resolução nº 258/1999. 1999.

SINIR. Pneus inservíveis. 2023. Disponível em: <https://sinir.gov.br/perfis/logistica-reversa/logistica-reversa/pneus-inserviveis/>. Acesso em: 16 de agosto de 2023.

GUO, W. Study on reverse logistics management of manufacturing enterprise. 2010.

CAPÍTULO 1

Borracha de pneus utilizadas em concreto para fundações em casas populares: uma contribuição à sustentabilidade ambiental

Caroline Silva Matos¹, Micaella Lima Nogueira², Reginaldo Brito da Costa³.

Resumo

A degradação ambiental assim como os impactos ambientais são assuntos de grande valia e repercussão no qual tem sido debatido e estudado continuamente, isso devido à sua importância para as gerações atuais e futuras. Dentre os materiais nos quais demandam tempo considerável para degradação se encontram os pneus, esses são grandes provocadores de impactos ambientais quando descartados incorretamente, dentre os danos que este pode causar está a poluição ambiental e o risco à saúde da população. Visando esses fatos, o governo vem criando e aprimorando leis para minimizar o máximo os impactos negativos que esses, quando descartados incorretamente, podem causar. Uma das possíveis alternativas existente para descarte está a logística reversa, que é a reutilização de um material que seria descartado sendo utilizado para um novo fim. Neste contexto, o presente estudo objetivou avaliar a utilização de descartes de resíduos de pneus para uma nova finalidade, sendo reutilizado em concreto para fundação do tipo radier, logo, essa traz a substituição de resíduos de borracha em 5%, 7,5% e 10% do agregado miúdo da massa de concreto, analisando essa adição de forma técnica, econômica e sustentável. Quanto a viabilidade técnica os dados obtidos apresentaram diminuição na resistência à compressão da massa de concreto, sendo que para o caso estudado apenas a substituição de 5% atendeu as necessidades exigidas. Quanto à viabilidade econômica constatou-se que quanto maior a substituição maior a economia. Em relação ao meio ambiente a utilização pneus de descartes mostrou-se vantajoso, evitando assim que estes sejam descartados incorretamente no meio ambiente, poluindo e trazendo riscos à saúde da população.

Palavras-chave: Pneu, concreto, fundação, Radier, desenvolvimento local, logística reversa.

¹ Universidade Católica Dom Bosco (UCDB) carolsilvamatos@hotmail.com

² Universidade Católica Dom Bosco (UCDB) micaella.lima.nogueira@gmail.com

³ Universidade Católica Dom Bosco (UCDB) reg.brito.costa@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

Com a crescente degradação ambiental, a preservação ambiental tem sido foco no Brasil e no mundo, tal assunto se torna cada vez mais repercutido devido a sua grande valia atual. Sabendo disso, as legislações ambientais se tornaram e se tornam cada vez mais rigorosas neste quesito, logo, o governo busca constantemente práticas para que as empresas estejam em conformidade com a preservação do meio ambiente. Visando isso, a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 apresenta sanções penais e administrativas referente as condutas e atividades lesivas ao meio ambiente.

A indústria pneumática tem grande potencial no impacto ambiental devido a sua grande demanda. Sabendo disso, desde 1999 essas eram responsáveis pela destinação e descarte correto desses resíduos (Leal, Botinha e Santos 2013).

O descarte incorreto dos pneus pode afetar não só o meio-ambiente, mas também a população pois este material pode se tornar um abrigo ideal para animais peçonhentos e insetos, dentre esses está o mosquito *Aedes aegypti* conhecido pelos danos que este causa à saúde.

Em face dos impactos negativos dos descartes incorretos dos materiais, com foco naqueles que demoram mais tempo para se degradar, como os pneus, o conceito de sustentabilidade tem sido cada vez mais explorado, assim como o desenvolvimento sustentável. Segundo BRAGA (2002), o desenvolvimento de forma sustentável nada mais é do que atender as necessidades das gerações atuais, sem que sejam comprometidas as futuras. Emerge nessa linha, a logística reversa, considerando que é um processo de planejamento utilizado para que o material, após ser utilizado, tenha uma nova finalidade, possibilitando assim que não seja descartado de forma prejudicial à natureza, logo, o material pode ser reutilizado, reciclado ou substituído. Neste contexto, o presente estudo objetivou avaliar a utilização de descartes de resíduos de pneus para uma nova finalidade, sendo reutilizado em concreto para fundação do tipo radier, logo, essa traz a substituição de resíduos de borracha em 5%, 7,5% e 10% do agregado miúdo da massa de concreto, analisando essa adição de forma técnica, econômica e sustentável.

2 METODOLOGIA

A viabilidade técnica foi avaliada através de ensaios laboratoriais, tomando como referência as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), averiguando dessa forma o comportamento do material quanto a sua resistência no estado final para fundação do tipo radier, assim como a viabilidade de se utilizar esse tipo de fundação na região.

Para viabilidade econômica foram realizados estudos quantitativos, analisando o custo final ao se utilizar um novo material comparado ao custo do concreto obtido convencionalmente para o mesmo uso.

Quanto a sustentabilidade, pesquisas quali-quantitativas foram realizadas com foco nos resíduos de pneu de borracha. Essa modalidade de pesquisa reveste-se de importância utilizada por inúmeros autores ao redor do mundo, dentre eles Doriana Dal Palu (2023), Beatriz Lerma (2023), Flávio Scrucca (2016), Cláudio Severi (2016), Nicola Galvan (2016), Antonio Brunori (2016), Piero Mastroberardino (2020), Giuseppe Calabrese (2020), Flora Cortese (2020) e Miriam Petracca (2020).

Na sequência, a metodologia do presente estudo está separada em três linhas de pesquisa: 1- Viabilidade técnica, 2- Viabilidade econômica e 3- Sustentabilidade. Visando que, todos os dados coletados para tais linhas foram obtidos no âmbito regional do estado de Mato Grosso do Sul.

2.1 Viabilidade técnica

2.1.1 Determinação do tipo de fundação a ser realizada

Para escolha do tipo de fundação a ser pesquisada, primeiramente foi verificado o tipo de solo predominante do estado de Mato Grosso do Sul através de estudos de solos fornecido pelo Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (VERRUCK, 2016), e então determinado o melhor tipo de fundação a ser realizada no tipo de solo da região.

2.1.2 Determinação do tipo de radier

Para escolha entre o radier em concreto armado e concreto protendido foi tomada a decisão conforme a necessidade da região.

2.1.3 Método de dosagem

Para a realização do concreto é necessário saber a proporção de cada material a ser utilizado, e essa é obtida através de métodos de dosagem (MARMITTI, et al., 2016). Para a presente pesquisa foi utilizado o método de dosagem ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland).

O método de dosagem ABCP é determinado seguindo os seguintes passos: características dos materiais, fixação da relação a/c, determinação da proporção de cada material e apresentação do traço.

2.1.3.1 Características dos materiais

2.1.3.1.1 Cimento

O cimento é obtido industrialmente e seguindo a norma NBR 16697 (ABNT, 2018). As características de tal material foram obtidas através das informações impressas na sua embalagem.

2.1.3.1.2 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado foi adquirido em um depósito de construção na cidade de Campo Grande – MS. Para determinação da dimensão máxima característica e da classificação do material utilizado foi realizado o peneiramento fundamentado pela NBR 7217 (ABNT, 1987).

Seguindo a norma, o material a ser utilizado foi seco em estufa com temperatura de 100°C durante 12 horas, após esse período este foi retirado e espalhado em uma forma para resfriar. Após isso foram separadas duas amostras deste material e este foi peneirado em uma série de peneiras com o auxílio de um agitador durante 5 minutos, sendo esse procedimento realizado separadamente para cada amostra.

Após realizado o peneiramento de todo o material, a massa retida em cada peneira foi separada, pesada e anotada, com essa foi calculada a porcentagem retida em cada peneira (Equação 1), porcentagem média (Equação 2) e a porcentagem retida acumulada (Equação 3),

Equação 1 - Porcentagem retida

$$\% \text{ Retida} = \frac{\text{Massa do agregado retido na peneira}}{\text{Massa total do agregado}} * 100$$

Fonte: Elaboração própria, 2023

Equação 2 - Porcentagem média

$$\% \text{ Média} = \frac{\sum \text{Porcentagens retidas}}{\text{quantidade de pesagem}}$$

Fonte: Elaboração própria, 2023

Equação 3 - Porcentagem acumulada

$$\% \text{ Acumulada} = \text{Porcentagem atual} + \text{porcentagem anterior}$$

Fonte: Elaboração própria, 2023

A dimensão máxima característica foi determinada analisando em tabela em qual das peneiras o agregado apresentou uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% da massa total da amostra. Com a dimensão máxima característica do material determinou-se então a classificação do agregado, conforme tabela da norma NBR 7211 (ABNT, 2005).

Para determinação da massa específica do agregado foram retiradas duas amostras de 1000g do material, este foi colocado sobre a peneira de 4,8mm e lavada em água corrente para retirada dos finos. Após esse processo o material foi seco em estufa e resfriado em temperatura ambiente.

Com a amostra pesada e reservada, em duas provetas foram adicionados 1000 ml de água, após isso as mesmas foram pesadas. As amostras foram adicionadas dentro da proveta e a água foi descartada até a marca de 1000 ml, feito isso, o conjunto foi pesado. Com os valores obtidos, a massa específica foi calculada utilizando a seguinte equação:

Equação 4 – Massa específica (agregado graúdo)

$$\rho = \frac{M_s}{(M_1 + M_s) - M_2}$$

Fonte: NBR NM 53, 2003

Sendo:

ρ = Massa específica do agregado graúdo (g/cm^3);

M_s = Massa da amostra (g);

M_1 = Massa da provete + água (g);

M_2 = Massa da proveta + água + amostra (g).

Para a determinação da massa específica unitária do agregado, foi pesado um recipiente paralelepipedico e anotado, este foi colocado sobre uma forma evitando assim o desperdício de materiais.

Foi então separado uma amostra do agregado e este foi adicionado no recipiente até 1/3 de sua capacidade, com a auxílio de uma haste de adensamento foi realizado 25 golpes de formar circular na amostra com o intuito de adensar a mesma. Este procedimento foi realizado igualmente em 2/3 da capacidade do recipiente e no preenchimento total do mesmo e este foi

pesado. Esse processo foi repetido por três vezes utilizando o mesmo recipiente e seus valores foram anotados.

Para obtenção do valor da massa unitária da amostra utilizou-se a seguinte equação:

Equação 5 – Massa unitária (agregado graúdo)

$$\mu = \frac{\text{Massa do agregado}}{\text{Volume do recipiente}}$$

Fonte: Elaboração própria, 2023

2.1.3.1.3 Agregado miúdo

Para a determinação das características do agregado miúdo foram realizados procedimentos semelhantes ao do agregado graúdo que serão descritos a seguir.

A obtenção de tal agregado foi realizada no mesmo local do agregado graúdo e os ensaios realizados para esse material têm como base a mesma normativa utilizada para o agregado graúdo (NBR 7217).

O início do processo de ensaio do presente material teve o mesmo processo de secagem e resfriamento e peneiramento do agregado graúdo.

Com o peneiramento realizado e finalizado, a massa retida em cada peneira foi separada, pesada e anotada, com os resultados foram calculadas as porcentagens retidas em cada peneira (equação 1) e a porcentagem retida acumulada (equação 3).

Após realização dos cálculos determinou-se a dimensão máxima característica do material (a dimensão máxima característica foi determinada de modo semelhante ao do agregado graúdo).

Para a obtenção do módulo de finura de tal amostra utilizou-se a seguinte equação:

Equação 6 – Módulo de finura (agregado miúdo)

$$\text{Módulo de finura} = \frac{\sum \% \text{ Retida acumulada} - \text{Fundo}}{100}$$

Fonte: Elaboração própria, 2023

Para determinação da massa específica do agregado miúdo foram retiradas duas amostras do material e estas foram pesadas. Com a amostra pesada e reservada, em dois frascos de Chapman foi adicionado água até a marca de 200 ml presente nestes. Após isso, as amostras foram adicionadas no frasco, o mesmo foi inclinado com o intuito de retirar qualquer material que tenha eventualmente aderido ao tubo. Feito isso, realizou-se então a leitura final obtida no próprio frasco, e então a massa específica foi calculada utilizando a Equação 7.

Equação 7 – Massa específica (agregado miúdo)

$$\rho = \frac{M}{L - 200}$$

Fonte: NBR 9776, 1987

Sendo:

ρ = Massa específica do agregado miúdo (kg/dm^3);

M = Massa do agregado miúdo (g);

L = Leitura final do frasco.

2.1.3.1.4 Resíduo de pneu de borracha

Os ensaios realizados para esse resíduo assemelham-se aos ensaios do agregado miúdo, visando que o objetivo desse material na presente pesquisa é que o mesmo trabalhe como um agregado miúdo, logo, para ser considerado como tal, se faz necessário que as suas características estejam enquadradas nos mesmos critérios apresentados no item 2.1.3.1.3.

2.1.3.2 Determinação da proporção dos materiais

2.1.3.2.1 Consumo de água

Através do método ABCP, para a obtenção do consumo de água no presente concreto utilizou a tabela encontrada em Rodrigues, 1998, onde utiliza-se o valor da dimensão máxima do agregado graúdo e o abatimento em mm do concreto (para obtenção do valor de abatimento foi utilizado como base a norma NBR 8953).

2.1.3.2.2 Consumo de cimento

Para a determinação do consumo de cimento utilizou-se seguinte fórmula:

Equação 8 – Consumo de cimento

$$C_c = \frac{C_a}{a/c}$$

Fonte: Varela, 2023

Sendo:

$$C_c = \text{Consumo de cimento} \left(\frac{Kg}{m^3} \right);$$

$$C_a = \text{Consumo de água (L)};$$

$$a/c = \text{Relação água cimento.}$$

2.1.3.2.3 Consumo de agregado graúdo

Para a obtenção do consumo de agregado graúdo, utilizou-se a fórmula a seguir, onde o volume de brita foi obtido através da tabela em Rodrigues, 1998.

Equação 9 – Consumo de agregado graúdo

$$Cb = Vb * Mu$$

Fonte: Varela, 2023

Sendo:

$$Cb = \text{Consumo de agregado graúdo} \left(\frac{Kg}{m^3} \right);$$

$$Vb = \text{Volume do agregado graúdo seco (m}^3 \text{ de concreto)};$$

$$Mu = \text{Massa unitária compactada do agregado graúdo} \left(\frac{Kg}{m^3} \right).$$

2.1.3.2.4 Consumo de agregado miúdo

Para obtenção do volume de agregado miúdo utilizou-se a seguinte equação:

Equação 10 – Consumo de agregado miúdo

$$Cm = \gamma m * Vm$$

Fonte: Varela, 2023

Sendo:

$$Cm = \text{Consumo de agregado miúdo (kg/m}^3 \text{)};$$

$$\gamma m = \text{Massa específica do agregado miúdo (kg/m}^3 \text{)};$$

$$Vm = \text{Volume de agregado miúdo.}$$

Equação 11 – Volume de agregado miúdo

$$Vm = 1 - \left(\frac{Cc}{\gamma_c} + \frac{Cb}{\gamma_b} + \frac{Ca}{\gamma_a} \right)$$

Fonte: Varela, 2023

Sendo:

$V_m =$ Volume de agregado miúdo;

$C_c =$ Consumo de cimento (kg/m^3)

$C_b =$ Consumo de agregado graúdo (kg/m^3)

$C_a =$ Consumo de água (kg/m^3)

$\gamma_c =$ Massa específica do cimento (kg/m^3)

$\gamma_b =$ Massa específica do agregado graúdo (kg/m^3)

$\gamma_a =$ Massa específica da água (kg/m^3)

2.1.3.3 Traço

Após determinado o consumo de cada material foi calculado o traço utilizando a seguinte equação:

Equação 12 – Determinação do traço

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_m}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_a}{C_c}$$

Fonte: Varela, 2023

Sendo:

$C_c =$ Consumo de cimento (kg/m^3)

$C_m =$ Consumo de agregado miúdo (kg/m^3);

$C_b =$ Consumo de agregado graúdo (kg/m^3)

$C_a =$ Consumo de água (kg/m^3)

2.1.3.4 Preparo do concreto

Para o preparo da massa de concreto primeiramente todos os materiais foram pesados, separados e identificados, conforme seu traço (Figura 3).

Figura 3 - Materiais pesados e separados



Fonte: Elaboração própria, 2023

Com o auxílio de uma betoneira de 120 L foi adicionado o agregado graúdo e metade da quantidade total da água, após isso foi adicionado o cimento e estes foram misturados por aproximadamente 1 minuto. Após esse tempo foram adicionados o agregado miúdo, resíduo de borracha e o restante da água, e todos os materiais foram misturados.

2.1.3.5 Teste de consistência

O teste de consistência foi realizado através do abatimento do tronco de cone “slump teste”, seguindo os parâmetros da norma NBR NM 67 (ABNT, 1996).

Conforme norma, o molde e a placa da base do molde foram umedecidos com água, e esses foram montados. O operador do molde posicionou-se com os pés sobre as aletas para manter o molde estável durante todo o processo de ensaio. Com auxílio de uma concha metálica foi preenchido o cone por 3 vezes (1/3, 2/3 e 3/3), durante cada intervalo de preenchimento, as camadas foram compactadas com 25 golpes por uma haste de socamento. Os golpes foram realizados de forma uniforme em toda a massa de concreto.

Após todas as camadas serem preenchidas e compactadas, retirou-se o primeiro molde e a superfície foi nivelada. Com a superfície nivelada o cone foi cuidadosamente retirado verticalmente. Imediatamente após a retirada do cone, o mesmo foi posicionado ao lado da massa de concreto, colocada a haste de socamento sobre o cone e com o auxílio de uma régua foi medido o valor do abatimento da massa.

2.1.3.6 Moldagem dos corpos-de-prova

Para a moldagem dos corpos-de-prova foi utilizada como base a norma NBR 5738, conforme norma foram preparados os moldes na dimensão de 10x20 cm sendo fechados de modo a não vazarem massa pela sua fresta e untando internamente com óleo mineral.

Foram então preenchidos em 2 camadas, sendo aferidos 15 golpes dentre as camadas com auxílio da haste de socamento. A última camada foi realizada de modo a sobressair a massa do molde. Após isso a superfície foi nivelada e alisada com auxílio de uma colher de pedreiro, e sobre esses foram colocadas as identificações.

2.1.3.7 Desforma dos corpos-de-prova

Após moldados os corpos-de-prova foram armazenados durante 24 horas. Após esse período os mesmos foram desmoldados e levados para cura em câmara úmida.

2.1.3.8 Ensaio de compressão dos corpos-de-prova

Para o ensaio de compressão, os corpos-de-prova foram retirados da câmara úmida e deixados em temperatura ambiente com antecedência de 24 horas. Após esse período os corpos-de-prova foram submetidos ao ensaio com auxílio da máquina de ensaio de compressão (Figura 4).

Figura 4 - Teste de compressão



Fonte: Elaboração própria, 2023

2.2 Viabilidade econômica

Para se determinar a viabilidade econômica para realização de um radier utilizando resíduos de borracha, em que se levou em consideração a construção de uma casa popular, comparando entre os valores gastos sem utilizar os resíduos de borracha e substituindo 5%, 7,5% e 10% do agregado miúdo da massa.

Para obtenção dos valores foram realizados orçamentos com o auxílio do aplicativo orçafascio no qual utiliza a base de dados de insumos do Estado de Mato Grosso do Sul.

2.3 Sustentabilidade

Para a análise quanto ao uso de resíduos de pneus foi realizada uma pesquisa qualitativa inserindo os resíduos de borracha em massa de concreto para fundação do tipo radier.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

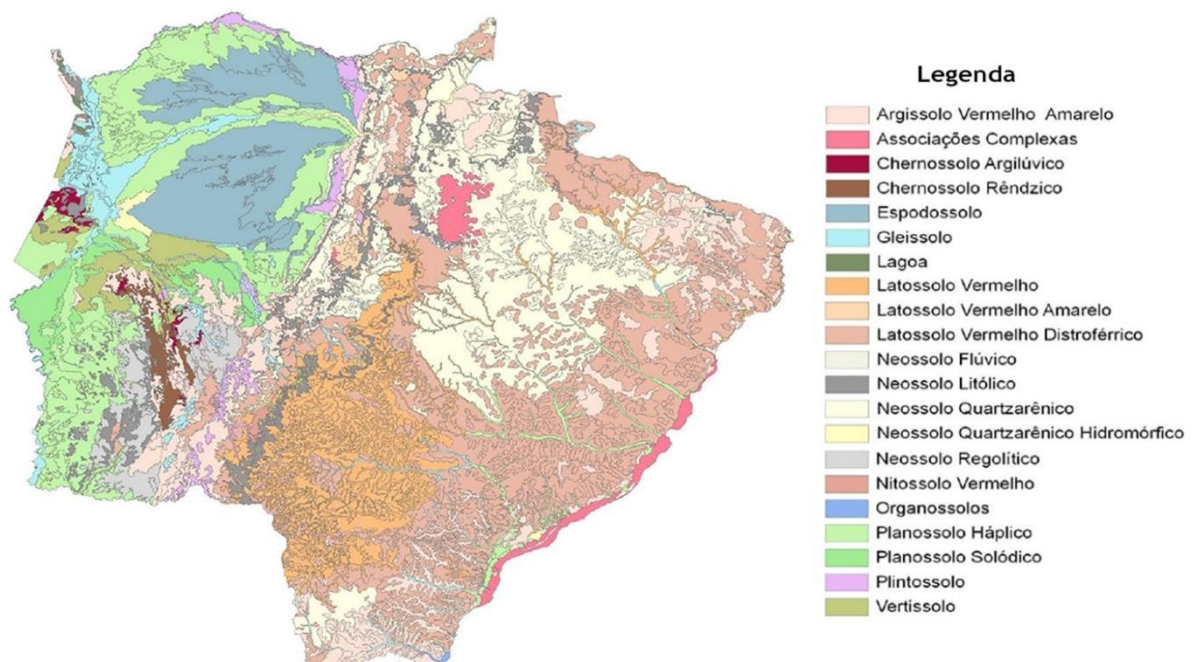
Os resultados da presente pesquisa foram separados em relação a viabilidade técnica, econômica e sustentável.

3.1 Viabilidade técnica

3.1.1 Tipo de fundação

Observando que o solo predominante da região de Mato Grosso do Sul são os latossolos (figura 1) e que segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Sousa & Lobato, 2021), os latossolos possuem argilas variando entre 15% e 80%, considerado um solo altamente argiloso, sendo assim recomendadas as fundações rasas (CELERE, 2022).

Figura 5 - Solos do estado de Mato Grosso do Sul



Fonte: VERRUCK, 2016

As fundações rasas utilizadas na construção civil são: sapata, viga baldrame, bloco e radier. Visando a grande quantidade de construções de pequeno porte no estado de Mato Grosso

do Sul, a fundação mais apropriada é do tipo radier, sendo que essa apresenta baixo custo e rapidez durante a execução da obra, viabilizando assim a construção, não deixando de atender os requisitos físicos necessários para atender as normas técnicas.

3.1.2 Tipo de radier

Visando a quantidade expressiva de residências de pequeno porte no estado, optou-se então pelo radier do tipo concreto armado, sabendo que esse é o mais indicado para estruturas de pequeno porte.

3.1.3 Método de dosagem

O método de dosagem ABCP é realizado através dos seguintes passos: características dos materiais, fixação da relação a/c, determinação da proporção de cada material e apresentação do traço. Para que isso seja feito foi realizado um estudo da resistência mínima do concreto aos 28 dias para a fundação em questão.

Conforme a norma NBR 6118 (ABNT, 2023) para que se determine a classe do concreto que se utilizará, anteriormente deve-se identificar a classe de agressividade ambiental em qual a estrutura estará sujeita. Para o presente caso analisou-se que a classe de agressividade mais recorrente do estado seria a classe II utilizando como base a tabela a seguir:

Quadro 1 - Classe de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
IV	Muito forte	Industrial	Elevado

		Respingos de maré	
--	--	-------------------	--

Fonte: NBR 6118, 2023

Após identificada a classe de agressividade ambiental verificou-se então a relação água/cimento em massa, assim como a classe do concreto, ficando para relação água/cimento em massa $\leq 0,60$ e classe de concreto $\geq C25$.

Tabela 1 - Relação água/cimento e classe de concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq \mathbf{0,60}$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto	CA	$\geq C20$	$\geq \mathbf{C25}$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$

a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: NBR 6118, 2023

Apurando os dados concluiu-se que, o concreto deve ter resistência mínima de 25 MPa aos 28 dias de idade.

3.1.3.1 Características dos materiais

3.1.3.1.1 Cimento

O cimento utilizado foi o CP II-F-32, conforme informações impressas na embalagem as características desse material (Tabela 2 e 3).

Tabela 2 - Limites de composição do cimento portland (porcentagem de massa)

Designação normalizada	Sigla	Classe de resistência	Clínquer + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático	Massa específica (kg/m³)
Cimento Portland composto com material carbonático	CP II-F	32	75 - 89	0	0	11-25	3100

Fonte: NBR 16697, 2018

Tabela 3 - Requisitos físicos e mecânicos

Sigla	Classe	Finura	Tempo de início de pega min	Expansibilidade a quente mm	Resistência à compressão Mpa			
		Resíduo na peneira 75 µm %			1 dia	3 dias	7 dias	28 Dias
CP II-F	32	≤ 12	≥ 60	≤ 5	-	≥ 10	≥ 20	≥ 32

Fonte: NBR 16697, 2018

3.1.3.1.2 Agregado graúdo

Após realizados em ensaios laboratoriais fundamentadas pela NBR 7217 (ABNT, 1987), os resultados quanto ao agregado graúdo utilizado para a presente pesquisa foram resumidos a seguir:

Tabela 4 - Resumo das características do agregado graúdo

CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO	
DIMENSÃO MÁXIMA	12,5 mm

CLASSIFICAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO	Brita 0 (zero)
MASSA ESPECÍFICA	2890 kg/m ³
MASSA UNITÁRIA	1530 kg/m ³

Fonte: Elaboração própria, 2023

3.1.3.1.3 Agregado miúdo

Após realizados os ensaios laboratoriais fundamentados na mesma norma do agregado graúdo (NBR 7217), os resultados quanto as características do agregado miúdo utilizado na presente pesquisa foram os seguintes:

Tabela 5 - Resumo das características do agregado miúdo

CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO	
DIMENSÃO MÁXIMA	4,75 mm
MASSA ESPECÍFICA	2660 kg/m ³
MÓDULO DE FINURA	3,32

Fonte: Elaboração própria, 2023

3.1.3.1.4 Resíduo de pneu de borracha

Para os resíduos de pneus de borracha foram realizando os mesmos ensaios laboratoriais do agregado miúdo, visando que este foi substituído pelo agregado miúdo da massa. Logo foram obtidos os resultados necessários para a pesquisa:

Tabela 6 - Resumo das características do resíduo de borracha

CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO PNEU	
DIMENSÃO MÁXIMA	4,75 mm
MÓDULO DE FINURA	1,04

Fonte: Elaboração própria, 2023

3.1.3.2 Determinação da proporção dos materiais

3.1.3.2.1 Consumo de água

Para a presente pesquisa, determinou-se então um abatimento entre 60 a 80mm, sendo esse um valor médio.

Logo, o consumo de água é de 217,11 L/m³ ou 217,11 kg/m³, através de interpolação dos valores da tabela a seguir:

Tabela 7 - Consumo de água (l/m³)

Abatimento	D _{máx} agregado graúdo (mm)					
	9,5	12,5	19	25,00	32,00	38,00
40 a 60	220	212,11	195	190	185	180
60 a 80	225	<u>217,11</u>	200	195	190	185
80 a 100	230	222,11	205	200	195	190

Fonte: Elaboração própria, 2023

Analisando os resultados é possível se identificar um consumo de água igual a 217,11 L para o caso em questão.

3.1.3.2.2 Consumo de cimento

Para se determinar o consumo cimento é necessário a relação água cimento da massa e o consumo de água.

Para se obter o valor da relação a/c da presente pesquisa foi utilizada a curva de Abrams, sendo essa a relação entre a resistência à compressão do concreto aos 28 dias (MPa) e a resistência normal do cimento aos 28 dias (MPa), através desses dados obteve-se a relação água/cimento da massa de concreto.

Para obtenção do valor de resistência à compressão do concreto aos 28 dias (MPa) foi utilizada a seguinte fórmula:

Equação 13 – Resistência à compressão do concreto aos 28 dias (Mpa)

$$F_{c_{28}} = F_{ck} + 1,65 * sd$$

Fonte: JÚNIOR, 2023

Sendo:

$F_{c_{28}}$ = Resistência à compressão do concreto aos 28 dias (MPa);

F_{ck} = Resistência característica do concreto à compressão aos 28 dias (MPa);

sd = Desvio padrão.

O fator F_{ck} é a resistência mínima do concreto aos 28 dias, para o concreto utilizado na presente pesquisa o F_{ck} mínimo é 25 MPa conforme norma NBR 6118 (Item 3.1.3).

O desvio padrão (sd) é definido de forma teórica através da norma NBR 12655, esse é definido conforme modo de preparo do concreto. Para a presente pesquisa foi definido como ideal a condição “C” de preparado, visando o método de preparo mais comum utilizado em obras de pequeno porte, nesse caso o valor de desvio padrão é definido como 7 MPa.

Logo os valores foram substituídos, obtendo-se então o seguinte resultado para o F_{ck} aos 28 dias do traço a ser determinado através do presente método de dosagem:

Equação 14 – Resultado da resistência à compressão do concreto aos 28 dias

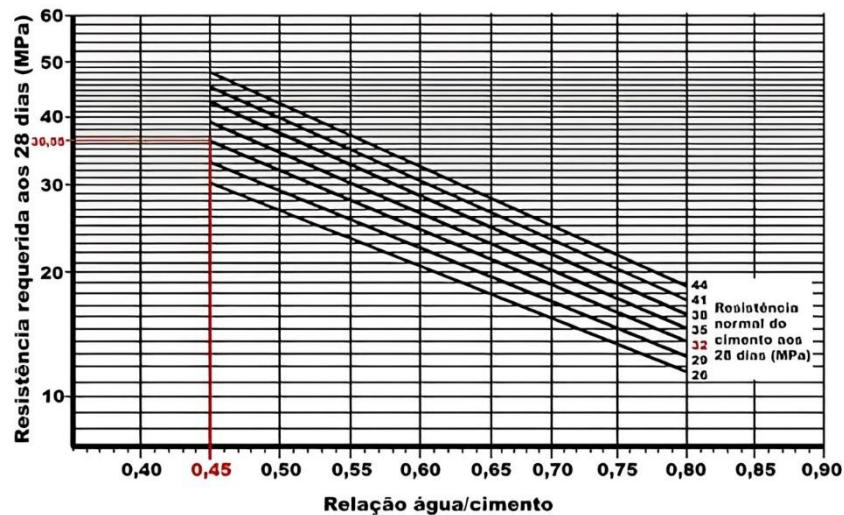
$$F_{c_{28}} = 25 + 1,65 * 7$$

$$F_{c_{28}} = 36,55 \text{ MPa}$$

Fonte: Elaboração própria, 2023

Após a obtenção do valor à compressão do concreto aos 28 dias e sabendo que a resistência normal do cimento utilizado é de 32 MPa (Tabela 3), foi definido o valor de relação a/c igual a 0,45 através da curva de Abrams como indicado a seguir:

Gráfico 1 – Curva de abrams



Fonte: Elaboração própria, 2023

Com os valores substituídos na equação foi obtido o seguinte resultado quanto ao consumo de cimento da massa de concreto:

Equação 15 – Resultado do consumo de cimento

$$C_c = \frac{217,11}{0,45}$$

$$C_c = 482,45 \text{ kg/m}^3$$

Fonte: Elaboração própria, 2023

3.1.3.2.3 Consumo de agregado graúdo

Para que seja resolvida a equação para determinação de consumo de brita é necessário se determinar a variável V_b . Segundo Rodrigues (1998), o valor de V_b é tabelado, logo este foi determinado através de outras duas variáveis: Dimensão máxima característica de agregado graúdo (12,5 mm) e o módulo de finura da areia (3,3). Visando que na tabela original não havia os valores da presente pesquisa, os valores da mesma foram interpolados, como indicado a seguir:

Tabela 8– Variável V_b

Módulo de finura da areia	Dimensão máxima característica do agregado graúdo (mm)					
	9,5	12,5	19,0	25,0	32,0	38,0
1,8	0,645	0,684	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,664	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,644	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,624	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,604	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,584	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,564	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,544	0,630	0,655	0,680	0,705
3,3	0,495	0,534	0,620	0,645	0,670	0,765
3,4	0,485	0,524	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,504	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: Elaboração própria, 2023

Com os valores foram substituídos na Equação 16 como indicado a seguir:

Equação 16 – Resultado do consumo de agregado graúdo

$$Cb = 0,534 * 1530$$

$$Cb = 817,02 \text{ kg/m}^3$$

Fonte: Elaboração própria, 2023

Logo o consumo de agregado graúdo é de 817,02 kg/m³.

3.1.3.2.4 Consumo de agregado miúdo

Para a determinação do consumo de agregado miúdo da massa é necessário de obter primeiramente o volume de agregado miúdo. Para isso foram substituídos os valores obtendo então o volume de agregado miúdo indicado a seguir:

Equação 17 – Resultado do volume de agregado miúdo

$$Vm = 1 - \left(\frac{Cc}{\gamma_c} + \frac{Cb}{\gamma_b} + \frac{Ca}{\gamma_a} \right)$$

$$Vm = 1 - \left(\frac{482,45}{3100} + \frac{817,02}{2890} + \frac{217,11}{1000} \right)$$

$$Vm = 0,344$$

Fonte: Elaboração própria, 2023

Para obtenção do consumo de agregado miúdo substituiu-se os valores na equação, ficando então:

Equação 18 – Resultado do consumo de agregado miúdo

$$Cm = 2660 * 0,344$$

$$Cm = 915,04 \text{ km/m}^3$$

Fonte: Elaboração própria, 2023

3.1.3.3 Traço

Com todos os valores obtidos foi então determinado o traço a seguir:

Equação 19 - Traço

$$\frac{482,45}{482,45} : \frac{915,04}{482,45} : \frac{817,02}{482,45} : \frac{217,11}{482,45}$$

$$1 : 1,90 : 1,69 : 0,45$$

Fonte: Elaboração própria, 2023

Sabendo que seriam realizados 12 rompimentos, foi determinado a quantidade de material para realização de 13 corpos de prova, visando uma possível perda de material, resumindo o traço de cada material obteve-se a seguinte tabela:

Tabela 9 – Resumo do traço

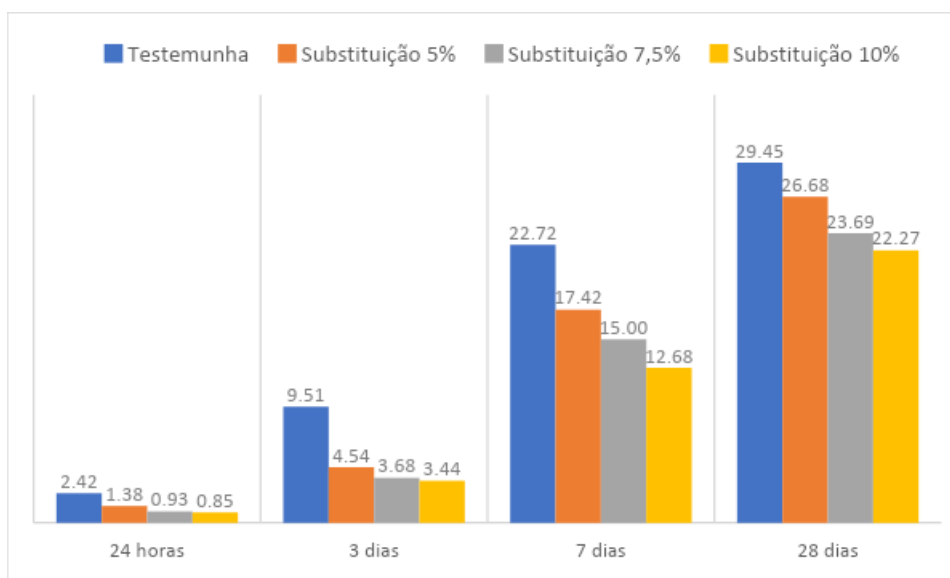
SUBSTITUIÇÃO DO PNEU NO TRAÇO DO CONCRETO							
TESTEMUNHA		TRAÇO 5%		TRAÇO 7,5%		TRAÇO 10%	
Cc	10,04 kg	Cc	10,04 kg	Cc	10,04 kg	Cc	10,04 kg
Cm	19,08 kg	Cm	18,13 kg	Cm	17,65 kg	Cm	17,17 kg
Cb	16,92 kg	Cb	16,92 kg	Cb	16,92 kg	Cb	16,92 kg
Ca	4,52 kg	Ca	4,52 kg	Ca	4,52 kg	Ca	4,52 kg
Borracha	0	Borracha	0,95 kg	Borracha	1,43 kg	Borracha	1,91 kg

Fonte: Elaboração própria, 2023

3.1.3.4 Resultados dos ensaios de compressão

Os corpos-de-prova foram rompidos com 24 horas, 3 dias, 7 dias e 28 dias após sua moldagem. Os resultados dos ensaios de compressão em MPa foram resumidos no gráfico a seguir:

Gráfico 2 – Resultados dos ensaios de compressão



Fonte: Elaboração própria, 2023

Com a análise realizada os concretos sem a adição de resíduos de borracha e os com adição de 5% obtiveram resultados dentro do valor ideal da norma para o fim desejado, as adições acima de 5% diminuíram a resistência não atendendo mais o fim desejado. Conforme Mendona et al (2022) a substituição de agregado miúdo por resíduo de borracha diminui a resistência à compressão do concreto, e quanto maior a porcentagem adicionada mais essa resistência diminui.

3.2 Viabilidade econômica

Para a escolha da metragem quadrada da casa foi utilizado um valor médio das casas populares do estado de Mato Grosso do Sul com área de 45 m² (AGEHAB, 2015). A fundação estimada será do tipo radier, com espessura de 30 cm, logo a quantidade de concreto a ser utilizado será de 13,50 m³ ou 13500 dm³.

Para determinação do volume de concreto, utilizou-se o traço calculado para a presente pesquisa de 1:1,90:1,69:0,45 (Cimento: agregado miúdo: agregado graúdo:água). Para a determinação do volume de cimento para 13,5 m³ de massa utilizou-se a seguinte equação:

Equação 20 – Consumo de material

$$C = \frac{13500}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_m} + \frac{b}{\gamma_b} + a/c}$$

Fonte: Elaboração própria, 2023

Sendo:

C = Consumo de material (Kg);

a/c = Fator água/cimento;

a = Valor de agregado miúdo do traço;

b = Valor de agregado graúdo do traço;

γ_c = Massa específica do cimento (kg/dm^3)

γ_b = Massa específica do agregado graúdo (kg/dm^3)

γ_a = Massa específica da água (kg/dm^3)

Substituindo os valores na equação obteve-se:

Equação 21 - Resultado do consumo de material

$$C = \frac{13500}{\frac{1}{3,1} + \frac{1,90}{2,66} + \frac{1,69}{2,89} + 0,45}$$

$$C = 6516,57 \text{ Kg}$$

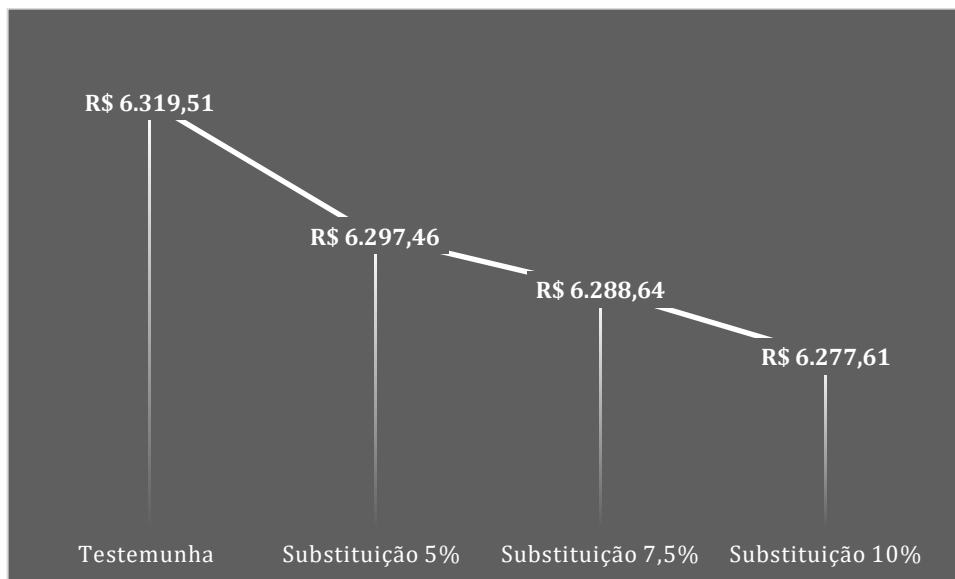
Fonte: Elaboração própria, 2023

Logo, o consumo de cimento é de 6516,57 Kg para 13,50 m³ de concreto. Para a determinação do consumo dos demais materiais, esse valor foi multiplicado pelo traço (anexos 1, 2, 3 e 4).

Utilizando como base a planilha orçamentária do programa orçafascio, foi realizado o orçamento de todos os traços (anexos 5, 6, 7 e 8).

Após serem realizados os orçamentos, para melhor visualização dos valores obtidos, os mesmos foram inseridos em um gráfico como indicado a seguir:

Gráfico 3 – Resumo dos custos



Fonte: Elaboração própria, 2023

O presente gráfico demonstra que quanto maior a porcentagem de adição de borracha maior será a economia ao se adquirir os materiais, porém, quanto a finalidade dessa pesquisa, aos requisitos quanto aos testes de resistência apenas o concreto com adição de 5% está de acordo com a norma para utilização em fundação de radier nas condições pré-determinadas anteriormente. Logo, é possível se identificar a economia quanto ao uso de tal adição de material, porém é necessário que esses estejam atendendo todos os requisitos solicitados para os fins desejados.

3.3 Sustentabilidade

Para se identificar quão viável sustentavelmente é a utilização de resíduos de borracha em massa de concreto foi mantida a hipótese de casas populares do estado de Mato Grosso do

Sul com área de 45 m² e espessura de radier de 0,30m, sendo utilizadas as quantidades de material já calculadas no item de viabilidade econômica em relação a borracha sendo esses:

Tabela 10 – Peso da borracha

Adição de 5%	Adição de 7,5%	Adição de 10%
651,65 kg	912,31 kg	1238,14 kg

Fonte: Elaboração própria, 2023

Segundo AUBICON (2021), na fabricação de um carro convencional se utiliza cerca de 1,35 kg de borracha, sabendo disso, é possível se dizer que para as quantidades acima citadas voltadas a quantidade de pneus seriam as seguintes:

Tabela 11 – Transformação de quilogramas de pneu para unidade de pneu

	Adição de 5%	Adição de 7,5%	Adição de 10%
Quantidade em kg	651,65	912,31	1238,14
Quantidade em unidade de pneu	483	676	917

Fonte: Elaboração própria, 2023

Com a suposição de que seja descartado 1 pneu por dia, tomando como base dia 1 de janeiro do ano de 2024, a adição de 5% de resíduos de pneu valeriam 1 ano e 118 dias, logo, o último pneus seria descartado no ano de 2025, sabendo que a degradação de um pneu leva em torno de 600 anos, o último pneu seria degradado no ano de 2625, com essa mesma lógica, com 7,5% de substituição valeriam 1 ano e 311 dias, sendo o último pneu descartado no final do ano de 2025 e sua degradação no final do ano de 2625, e para a substituição de 10% valeriam 2 anos e 187 dias, logo, o último pneu seria descartado no ano de 2026 e sua degradação seria em 2626.

4 CONCLUSÕES

A viabilidade técnica identificada através dos testes laboratoriais mostrou que o procedimento utilizando os resíduos de pneu de borracha só foram tecnicamente viáveis até 5%,

visando que a resistência mínima para uma fundação do tipo radier nas condições estudadas eram de 25 Mpa, e que as substituições acima de 5% diminuíram a resistência da massa de concreto abaixo do valor desejado, não atendendo as normas técnicas quanto este seguimento.

A análise da viabilidade econômica revelou que quanto maior a utilização de resíduos de borracha maior a economia, tendo em vista que os descartes são adquiridos gratuitamente e, portanto, torna-se importante e desejável a substituição com agregado miúdo.

A utilização de resíduos de pneu é notável quanto à sustentabilidade, considerando o longo tempo de degradação desse material na natureza, causando danos à saúde humana e ao meio ambiente, logo a utilização deste procedimento de logística reversa (LR) tem relevante importância para a geração atual e futuras em termos de qualidade de vida das pessoas e ao mesmo tempo, promovendo o desenvolvimento local dos municípios.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGEHAB. Governo lança na segunda-feira programa habitacional para famílias de baixa renda. 2015. Disponível em: <https://www.agehab.ms.gov.br/governo-lanca-na-segunda-feira-programa-habitacional-para-familias-de-baixa-renda/>. Acesso em: 16 de novembro de 2023.

AUBICON. 450 mil toneladas de pneus são descartados no Brasil por ano. Entenda o papel da aubicon para minimizar esse processo. 2021. Disponível em: <https://www.aubicon.com.br/450-mil-toneladas-de-pneus-sao-descartados-no-brasil-por-ano-entenda-o-papel-da-aubicon-para-minimizar-esse-processo/#:~:text=Anualmente%2C%20no%20Brasil%2C%20s%C3%A3o%20produzidos,o%20mesmo%20per%C3%ADodo%20em%202019>. Acesso em: 03 de junho de 2023.

BRAGA, B. Introdução à engenharia ambiental. 2002.

BRUNORI, A.; GALVAN, N.; SEVERI, C.; SCRUCCA, F. A new method to assess the sustainability performance of events: Application to the 2014 World Orienteering Championship. Italy, 2016.

CELERE. Tipos de solo. 2022. Disponível em: <https://celere-ce.com.br/construcao-civil/tipos-de->

NBR NM 67 ABNT. Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. 1996.

SETPAR. 2022. Disponível em: <https://www.setpar.com.br/blog/quanto-custa-construir-casas-populares/#:~:text=Qual%20o%20tamanho%20de%20uma,%2C%20em%20m%C3%A9dia%2C%20at%C3%A9%2070m%C2%B2>. Acesso em: 20 de junho de 2023.

SOUSA, D. M. G. e LOBATO, E. Embrapa. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-cerrado/solo/tipos-de-solo/latossolos>. Acesso em 4 de maio de 2023.

JÚNIOR, T. F. S. Estruturas de concreto armado. Minas Gerais. 2023. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/apostila-concreto>. Acesso em 14 de novembro de 2023.

VERRUCK, J. E. *IMASUL*. 2016. Disponível em: <https://www.imasul.ms.gov.br/wp-content/uploads/2016/02/Geoambientes-da-Faixa-de-Fronteira-Versao-2016.pdf>. Acesso em 4 de maio de 2023.

VARELA, M. Instituto federal de educação, ciência e tecnologia. Rio Grande do Norte. 2023. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/10476974/>. Acesso em 13 de novembro de 2023.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A viabilidade técnica da massa de concreto voltada para fundação do tipo radier, foi indicada ao se analisar os resultados obtidos da realização de corpos de prova com o traço calculado de modo a atender as normas técnicas brasileiras.

Os corpos de prova foram confeccionados igualmente em todos os processos, diferenciando apenas na adição do resíduo de borracha. Após esses serem confeccionados foram demonstrados os valores através de ensaio com auxílio de uma máquina de compressão indicando a mudança de resistência dos corpos de prova conforme o seu traço. Sendo determinado a sua resistência em estados endurecido (28 dias de idade).

Com os valores obtidos através dos ensaios laboratoriais é determinado que para o caso estudado a adição de resíduos de pneu de borracha são viáveis tecnicamente até a porcentagem de 5%, visando que quando maior a porcentagem da adição desse resíduo menor a resistência.

Em relação a viabilidade econômica, o traço foi determinado mantido para todos ensaios, diferindo apenas a quantidade de agregado miúdo, os quais foram substituídos parcialmente por resíduos de borracha.

Para melhor entendimento dos valores gastos para a produção de uma massa de concreto para fundação do tipo radier foi criado um caso hipotético, sendo esse voltado para as moradias populares e predominantes da região.

Com os valores obtidos, foi determinado que os gastos para a produção da massa de concreto sem a substituição do agregado miúdo por resíduos de borracha, é superior aos valores gastos com a mesma massa fazendo a substituição deste. Visto que a aquisição do resíduo de borracha não há custo, podendo esse ser obtido por empresas desse ramo, porém é necessário se analisar se a massa atende todos os requisitos necessários para o fim desejado.

Para a sustentabilidade foi realizada pesquisa quali-quantitativa utilizando o mesmo caso hipotético anterior. Ao se analisar a quantidade dos descartes de pneus, e o impacto ambiental que este causa ao meio ambiente em relação ao seu tempo de degradação, foi observado que os pneus são grandes causadores de poluição quando descartados incorretamente. Logo, a destinação correta dos mesmos é de grande valia ao meio ambiente e para geração futura.

ANEXOS

Anexo 1 - Resumo de consumo de material sem adição de resíduos de borracha

Consumo de materiais para traço sem adição de resíduos de borracha				
	Cimento	Agregado miúdo	Agregado graúdo	Água
Traço	1	1,90	1,69	0,45
Consumo (kg)	6516,57	12381,48	11013,00	2932,45

Fonte: Elaboração própria, 2023

Anexo 2 - Resumo de consumo de material com adição de 5% de resíduos de borracha

Consumo de materiais para traço com adição de 5% de resíduos de borracha					
	Cimento	Agregado miúdo	Resíduo de borracha	Agregado graúdo	Água
Traço	1	1,80	0,10	1,69	0,45
Consumo (kg)	6516,57	11729,82	651,65	11013,00	2932,45

Fonte: Elaboração própria, 2023

Anexo 3 - Resumo de consumo de material com adição de 7,5% de resíduos de borracha

Consumo de materiais para traço com adição de 7,5% de resíduos de borracha					
	Cimento	Agregado miúdo	Resíduo de borracha	Agregado graúdo	Água
Traço	1	1,76	0,14	1,69	0,45
Consumo (kg)	6516,57	11469,16	912,31	11013,00	2932,45

Fonte: Elaboração própria, 2023

Anexo 4 - Resumo de consumo de material com adição de 10% de resíduos de borracha

Consumo de materiais para traço com adição de 10% de resíduos de borracha					
	Cimento	Agregado miúdo	Resíduo de borracha	Agregado graúdo	Água
Traço	1	1,71	0,19	1,69	0,45

Consumo (kg)	6516,57	11143,33	1238,14	11013,00	2932,45
---------------------	---------	----------	---------	----------	---------

Fonte: Elaboração própria, 2023

Anexo 5 - Custo do traço comum

Item	Banco	Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Total
1	SINAPI	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II-32	kg	6516,57	0,84	R\$ 5.473,91
2	SINAPI	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO NA JAZIDA, SEM TRANSPORTE)	m ³	4,65	90,00	R\$ 418,92
3	SINAPI	PEDRA BRITADA N. 0, OU PEDRISCO (4,8 A 9,5 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	m ³	3,81	111,97	R\$ 426,68
						R\$ 6.319,51

Fonte: Elaboração própria, 2023

Anexo 6 - Custo do traço retirando 5% do agregado miúdo

Item	Banco	Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Total
1	SINAPI	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II-32	kg	6516,57	0,84	R\$ 5.473,91
2	SINAPI	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO NA JAZIDA, SEM TRANSPORTE)	m ³	4,40	90,00	R\$ 396,87
3	SINAPI	PEDRA BRITADA N. 0, OU PEDRISCO (4,8 A 9,5 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	m ³	3,81	111,97	R\$ 426,68
						R\$ 6.297,46

Fonte: Elaboração própria, 2023

Anexo 7 - Custo do traço retirando 7,5% do agregado miúdo

Item	Banco	Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Total
1	SINAPI	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II-32	kg	6516,57	0,84	R\$ 5.473,91
2	SINAPI	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO NA JAZIDA, SEM TRANSPORTE)	m ³	4,31	90,00	R\$ 388,05
4	SINAPI	PEDRA BRITADA N. 0, OU PEDRISCO (4,8 A 9,5 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	m ³	3,81	111,97	R\$ 426,68
						R\$ 6.288,64

Fonte: Elaboração própria, 2023

Anexo 8 - Custo do traço retirando 10% do agregado miúdo

Item	Banco	Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Total
1	SINAPI	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II-32	kg	6516,57	0,84	R\$ 5.473,91
2	SINAPI	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO NA JAZIDA, SEM TRANSPORTE)	m ³	4,18	90,00	R\$ 377,02
4	SINAPI	PEDRA BRITADA N. 0, OU PEDRISCO (4,8 A 9,5 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	m ³	3,81	111,97	R\$ 426,68
						R\$ 6.277,61

Fonte: Elaboração própria, 2023