

INFLUÊNCIA DO PÓ DE PEDRA E BORRACHA DE PNEU INSERVÍVEL COMO AGREGADOS NO CONCRETO

J. A. DA SILVA NETO¹, M. S. DE LIMA², A. F. N. DE AZERÊDO³, G. A. DE AZERÊDO⁴

Universidade Federal da Paraíba^{1,4}, Instituto Federal da Paraíba², Universidade Federal de Campina Grande³

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8355-1902>¹

neto.anselmo00@gmail.com¹

Submetido 06/03/2020 - Aceito 11/06/2021

DOI: 10.15628/holos.2021.9661

RESUMO

A indústria da construção civil é uma das principais consumidoras de recursos naturais, gerando enormes impactos ambientais. Tal verdade tem motivado diversos estudos sobre produzir determinado produto de forma sustentável, como é o caso do concreto, por exemplo, em substituir os agregados. Com isso, o presente trabalho teve como objetivo estudar as respostas do concreto, em concordância com a utilização dos rejeitos do pó de pedra em substituição ao agregado miúdo e a borracha de pneu inservível em substituição ao agregado graúdo. Realizou-se um

programa experimental a partir da caracterização dos materiais, produção de corpos de prova e verificação do concreto no seu estado fresco e endurecido. Após a elaboração de um traço referência que atingisse uma resistência à compressão superior a 25 MPa aos 28 dias, sucedeu-se a substituição dos agregados tradicionais para o de uso alternativos em proporções de 10%, 15%, 20%, 30%, 40% e 50%. Por fim, comprovou-se que o pó de pedra e a borracha de pneu inservível pode ser substituído em até 15% aos agregados tradicionais para concretos de fins estruturais.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto, Pó de Pedra, Borracha de Pneu Inservível, Sustentabilidade.

INFLUENCE OF STONE POWDER AND INSERVABLE TIRE RUBBER AS AGGREGATES IN CONCRETE

ABSTRACT

The construction industry is one of the main consumers of natural resources, generating huge environmental impacts. Such truth has motivated several studies on producing a certain product in a sustainable way, as is the case of the concrete, for example, in substituting the aggregates. With this, the present work had as objective to study the answers of the concrete, in agreement with the use of the rejects of the stone powder in substitution to the small aggregate and the rubber of unserviceable tire in substitution to the coarse aggregate. An experimental program was carried out from the characterization of the materials, production of

specimens and verification of the concrete in its fresh and hardened state. After the elaboration of a reference line that reached a compressive strength greater than 25 MPa at 28 days, the substitution of traditional aggregates for that of alternative use was succeeded in proportions of 10%, 15%, 20%, 30%, 40 % and 50%. Finally, it was proven that stone powder and waste tire rubber can be replaced by up to 15% to traditional aggregates for concrete for structural purposes.

KEYWORDS: Concrete, Stone dust, Waste tire rubber, Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

O concreto é o material mais utilizado na indústria da construção civil, seu consumo mundial foi estimado em 11 bilhões de toneladas (NAIK & MORICONI, 2015). Todavia, como todos os materiais, ele também possui um custo ambiental ao ser produzido. Cerca de 42% (KOGEL et al. 2016) dos 15 bilhões de toneladas (LANGER et al. 2014) de agregados produzidos a cada ano são usados no concreto. Com isto, há uma preocupação ambiental de como mitigar a utilização desses insumos em sua produção, mais especificamente o agregado miúdo (areia) e o agregado graúdo (pedra britada).

A atividade da extração da areia é responsável por causar alguns impactos ambientais, como podemos destacar: depreciação da qualidade das águas, incidência de processos erosivos e alterações na geomorfologia fluvial dos cursos d'água (NOBRE FILHO, 2012). Por outro lado, a exploração da brita, causa à abertura da cava (retirada da vegetação, escavações, movimentação de terra e modificação da paisagem local), ao uso de explosivos no desmonte de rocha (sobreprensão atmosférica, vibração do terreno, lançamento de fragmentos, fumos, gases, poeira, ruído), ao transporte e beneficiamento do minério (geração de poeira e ruído), afetando os meios como água, solo e ar, além da população local (MECHI e SANCHES, 2010).

Com o intuito de reduzir o consumo dos recursos naturais e mitigar a geração de resíduos, várias pesquisas têm sido realizadas em todo o país, visando sua utilização em substituição a agregados e aglomerantes no processo produtivo do concreto. Alguns resultados são bastante satisfatórios, pois sinalizam que esse tipo de material na produção do concreto é considerado mais sustentável, contribuindo para a minimização dos impactos gerados pelo setor e além de uma contribuição positiva nas esferas econômicas, sociais e ecológicas (FERNANDES, 2014).

Dentre tantas possibilidades para a confecção do concreto, observa-se uma nova possibilidade: o uso do pó de pedra e da borracha de pneu inservível aos agregados tradicionais, com a finalidade de ser empregado como matéria-prima na construção civil, barateando os custos de produção destes materiais e tornando-o ecologicamente correto, à medida que diminui os impactos ambientais que a atividade possa proporcionar automaticamente. Posto isto, se tem como fundamentação o “pensar globalmente, agir localmente” ao focar na necessidade de realinhar as práticas construtivas com modelos sustentáveis de habitação duráveis.

A principal vantagem da utilização de pó de pedra relaciona-se ao seu aspecto ambiental, uma vez que o emprego deste material aproveita um subproduto da exploração de pedras e reduz os danos da causados pela extração indiscriminada de areia dos leitos dos rios. O pó de pedra apresenta características físicas e químicas condizentes à sua utilização enquanto agregado miúdo do concreto. A fração fina do pó de pedra possui influência direta sobre a trabalhabilidade do concreto. No que tange à resistência à compressão simples, um estudo publicado por Menossi (2004) mostrou um aumento de 66% aos 28 dias em relação ao referência.

Os resíduos de pneus se tornaram um sério problema global. Todos os anos, quase 1 bilhão de pneus são descartados e 50% deles não são reciclados. Em 2030, acredita-se que a acumulação anual de pneus chegará a 1,2 bilhões (BLESSEN et al., 2015). É uma questão ecológica muito importante que precisa de uma solução imediata (GARRICK, 2001; BENAZZOUK et al., 2007; J. YANG et al., 2014; ONUAGULUCHI & PANESAR 2014; BLESSEN et al., 2015). Além disso, os resíduos de pneus apresentam risco de incêndio, especialmente em verões quentes (JANG et al., 1998).

Com base nisto, este trabalho tem como objetivo principal estudar as respostas do concreto para fins estruturais, em concordância com a utilização dos rejeitos do pó de pedra em substituição ao agregado miúdo e a borracha de pneu inservível em substituição ao agregado graúdo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No Brasil o uso de areia de britagem (pó de pedra) vem crescendo, haja vista a escassez de recursos naturais em algumas regiões do país. Vantagens como economia e sustentabilidade podem ser atribuídas à utilização do pó de pedra em substituição da areia natural. A vantagem econômica relaciona-se ao seu valor unitário que é menor se comparado ao preço do concreto convencional (SILVA et al., 2015).

Na pesquisa de Salles et al. (2010) observaram os efeitos da substituição da areia natural por pó de pedra nas proporções de 25%, 50%, 75% e 100% em massa. Os principais resultados encontrados apontaram um aumento significativo da resistência mecânica em relação ao concreto com areia natural (referência), apesar da redução significativa da trabalhabilidade do material. Em relação a durabilidade, o pó de pedra, devido a presença de materiais pulverulentos, aumentou a compacidade do material e reduziu a permeabilidade, tornando o material mais coeso.

No programa experimental de Martins de Souza et al. (2016), estudaram os custos empregando o pó de pedra na produção do concreto. Os valores apresentaram economia se comparado com o traço referência, sendo o traço com 50% de pó de pedra, 2,38% mais econômico que o traço referência. Concluíram que o traço com 50% de areia natural e 50% de pó de pedra, apresentou melhores resultados com valor de até 24 MPa, de resistência, e melhor valor econômico.

Diferentes autores, a exemplo de Menossi (2004); Salles et al. (2010) e Silva et al. (2015), perceberam que o pó de pedra apresentou como material complementar de boa alternativa se comparada a areia natural no concreto, isto é, atendendo aos requisitos normativos referentes aos agregados miúdos, melhorando as propriedades físicas, químicas e mecânicas do concreto, além de contribuir para a minimização de impactos ambientais. Também, concluíram que o concreto com pó de pedra exige um maior volume de água que pode ser suprida pela adição de substâncias plastificantes assegurando dessa maneira a sua trabalhabilidade.

Na última década, a variedade de materiais e produtos fabricados com pneus reciclados aumentou significativamente. Todavia, apesar da obrigatoriedade logística reversa na indústria automobilística brasileira, ainda existe resíduo oriundo. Nesse interim, na engenharia civil, pneus não cortados ou cortados são reaproveitados para a construção de telas de ruído, isolamento, cargas leves, suportes de pontes, montagem de aterros (BASHAR et al., 2012; BLESSEN & GUPTA, 2015; BLESSEN, GUPTA & PANIKAR, 2015). Os fabricantes de produtos usam frações menores obtidas por meio de modernas tecnologias de reciclagem na produção de peças de reposição para veículos, revestimentos, pigmentos (KAKROODI et al., 2012; YONGHUI et al. 2015). A fração fina de pneus triturados é usada na construção e reparo de estradas (WEIDONG, 2007; XIANG et al. 2014).

Alguns pesquisadores americanos (RASHID & YAZDANBAKHSI, 2019; JALAL et al. 2019, 2020; KARIMIPOUR et al. 2020) analisaram as possibilidades de usarem o aço de pneus usados no concreto de cimento Portland. O uso de borracha triturada e pedaços de aço de pneus no concreto de cimento Portland estava entre os principais objetivos da pesquisa científica de Papakonstantinou e Tobolski (2006) e Jalal et al. (2019; 2020). No entanto, concentraram-se

principalmente no uso de grânulos de aço em misturas de concreto. A principal variável de cálculo do estudo foi a porcentagem de grânulos de aço em volume. Os resultados dos testes mostraram que, com o uso de grânulos de aço, a resistência à compressão diminui, mas a dureza do material aumenta significativamente. Além disso, não houve mudanças significativas no desempenho das misturas de concreto preparadas.

Exemplos de boas práticas nos países de Cingapura e Ásia comprovam que a borracha de pneu reciclado pode ser usada para produção de concreto convencional e de alto desempenho em condições tropicais (WONG & TING, 2009). No mesmo estudo de Wong e Ting (2009), eles incluíram no estado fresco a medição de abatimento, densidade e teor de ar incorporado. No estado endurecido foi testado por métodos não destrutivos, incluindo testes de densidade e velocidade ultrassônica de pulso, bem como métodos destrutivos para medir a resistência à compressão para obter as curvas de tensão e deformação. As modificações na relação água-cimento (a/c), em substituição do agregado pela borracha, o tipo de borracha, substituição de cimento por aditivos minerais e alterações nas propriedades do concreto foram modificadas com borracha em diferentes tempos de assentamento. Concluíram-se que o uso da borracha melhorou as propriedades acústicas e mecânicas, porém piorou a trabalhabilidade acima de 30% da borracha reciclada em substituição ao agregado graúdo.

No estudo de Girskas e Nagrockiene (2017), verificou-se que o uso de borracha em substituição ao agregado em até 20% de substituição, reduz significativamente a resistência à compressão do concreto. O diâmetro máximo afeta diretamente na resistência, pois a fração 2/4 e fração 4/6, fez com que a resistência à compressão caia 68% e 61,3%, respectivamente. Os resultados dos testes em relação a velocidade de pulso ultrassônico em amostras de concreto com borracha reduziram. A velocidade de pulso ultrassônico em amostras contendo uma granulometria mais grossa foi ligeiramente maior do que as amostras contendo uma granulometria mais fina.

Desse modo, Ângulo, Zordan e John (2015) lembram que a substituição ou a incorporação de materiais alternativos na composição do concreto deve ter o cuidado de preservar ou melhorar suas principais características já conferidas pelo uso das suas matérias-primas básicas, ou seja, devem permitir que se produza uma pasta aglomerante, resistente e eficaz no preenchimento de vazios.

Nas últimas décadas, a partir da onda de sustentabilidade que permeia os mais diversos segmentos produtivos, a substituição ou incorporação de componentes ao concreto também foi vista como uma forma de reduzir os impactos ambientais por ele provocados, reutilizando materiais que, em outras circunstâncias, permaneceriam sem uso ou seriam descartados de forma errada no ambiente até a sua total decomposição (GIANSANTE; LEVY, 2015).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

As matérias-primas foram separadas em dois tipos de concretos para a produção dos corpos de prova. O primeiro concreto se dispôs de areia, brita, água e cimento (CP II – Z 32), enquanto o outro foi realizando as substituições da areia e brita por pó de pedra e borracha de pneu inservível, respectivamente. Vale salientar que, o pneu inservível após a aquisição nas

sucatas, passou por tratamento de corte e trituração, chegando assim, a uma granulometria semelhante do agregado graúdo.

A metodologia empregada para definir as composições de concreto e verificar suas características consistiu, primeiramente, em caracterizar os agregados. Os ensaios de caracterização dos materiais realizados foram: granulometria, massa específica, massa unitária, umidade, inchamento e teor de material pulverulento.

A areia utilizada na pesquisa apresentou um diâmetro máximo de 4,80 mm e um módulo de finura igual a 2,48, sendo assim, classificada pela NBR 7219 (ABNT, 1987) como média. O pó de pedra empregado na pesquisa exibiu um diâmetro máximo de 2,40 mm e um módulo de finura de 2,47, sendo assim, também classificado por norma como uma areia de granulometria média.

Nas figuras 1 e 2, pode-se observar as curvas granulométricas dos agregados miúdo e graúdo, respectivamente. Nota-se na Figura 1 que a curva granulométrica da areia apresenta uma melhor graduação dos grãos em comparação com a do pó de pedra, isto é, um melhor empacotamento das partículas e, conseqüentemente, quando utilizado só como agregado miúdo apresenta uma melhor resistência e durabilidade que o concreto produzido com o pó de pedra.

A brita utilizada na pesquisa apresentou um diâmetro máximo de 25,00 mm, assim como a borracha de pneu inservível. A brita e borracha de pneu inservível utilizados em estudo se enquadra na zona de utilização da NBR 7217 (ABNT, 2009) e são classificadas comercialmente como “brita 2”. A Figura 2 oferece de forma minuciosa as curvas granulométricas da brita e da borracha de pneu.

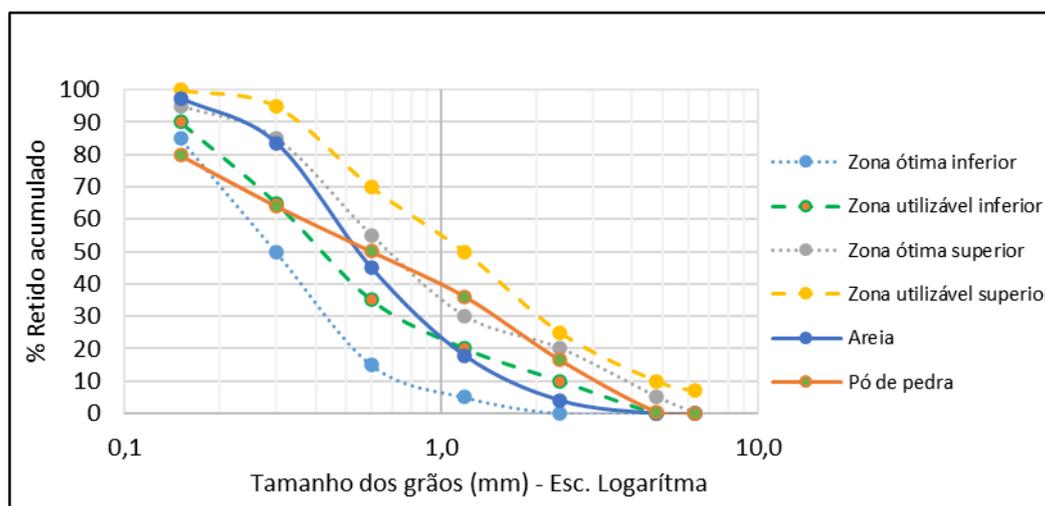


Figura 1: Curvas granulométricas dos agregados miúdo.

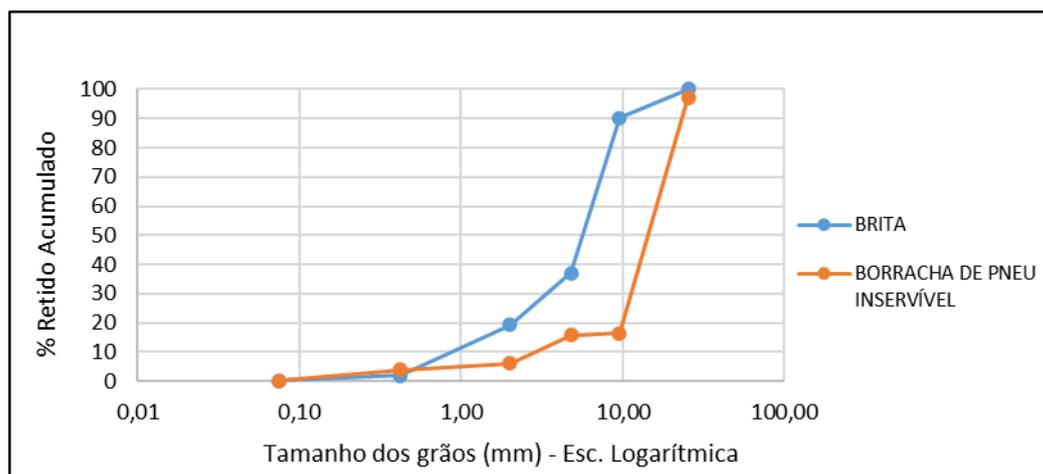


Figura 2: Curvas granulométricas dos agregados graúdo.

A massa específica dos agregados foi dividida em duas etapas: miúdo e graúdo. O frasco de Chapman foi utilizado para o agregado miúdo, seguindo a NBR 9776 (ABNT, 1987) e o método da proveta para o agregado graúdo, conforme a NBR 9937 (ABNT, 1987). Todos os agregados foram caracterizados como médios, excetuando a borracha de pneu inservível, sendo este classificado como leves, segundo a norma especificada.

Tabela 1: Massa específica dos agregados.

Areia	2,64 g/cm ³
Pó de Pedra	2,73 g/cm ³
Brita	2,50 g/cm ³
Borracha de Pneu Inservível	1,25 g/cm ³

A massa unitária dos agregados foi realizada no estado solto (Tabela 2), sendo este método adotado pela NBR 7251 (ABNT, 1982). O ensaio foi importante, pois o traço poderia ser medido tanto em massa quanto em volume.

Tabela 2: Massa unitária dos agregados.

Areia	1,46 g/cm ³
Pó de Pedra	1,84 g/cm ³
Brita	1,51 g/cm ³
Borracha de Pneu Inservível	0,45 g/cm ³

O método de ensaio executado para a umidade foi a NBR 9939 (ABNT, 2011), mais conhecido pelo método de secagem à estufa. Colocou-se a amostra úmida de cada material em estufa para verificar o percentual de umidade presentes em cada material (Tabela 3).

Tabela 3: Teor de umidade dos agregados.

Areia	0,63%
Pó de Pedra	3,70%
Brita	0,07%
Borracha de Pneu inservível	2,25%

O inchamento de um agregado miúdo varia em função do seu teor de umidade, isto é, expressa em volume relativo em função da umidade. A curva de inchamento pode ser simplificada por duas retas a partir da consideração que a partir de uma determinada umidade crítica o efeito de inchamento se torna desprezível, sendo pequena a variação de volume daí para diante. A realização de tal ensaio seguiu a NBR 6467 (ABNT, 2006).

Nas Figuras 3 e 4, pode-se observar de forma detalhada o gráfico de inchamento da areia e pó de pedra, ficando no limite de utilização entre 1,00% à 3,00% de umidade. As linhas azuis representam o coeficiente de inchamento e as vermelhas a umidade crítica (%), em que foi considerado um critério de 3,2%. Pode-se observar nos dois gráficos que ambos materiais ficam fora do limite de utilização, ou seja, muita umidade que o material representa. Na prática essa umidade deveria ser levada em conta, por exemplo, em períodos chuvosos, onde os materiais absorvem essa água. Logo, deveria diminuir a relação a/c, pois caso contrário, resultaria em um maior teor de água na composição do traço e consequentemente redução da resistência final do produto.

Nesse interim, como os agregados tiveram grande capacidade de retenção de água, portanto, na preparação do concreto em volume em que o agregado é proporcionado em volume, é importante considerar o inchamento devido à absorção de água do agregado miúdo conforme a granulometria, o que variou em aproximadamente 30%. O inchamento varia com a umidade e, conhecendo-se a curva de inchamento (inchamento em função da umidade), basta que se determine a umidade para que se obtenha essa característica. Em linhas gerais, a tensão superficial da película de água aumenta a bolha, os grãos de areia se separam. Logo, o inchamento se aplicaria na correção do agregado miúdo do concreto dosado em volume e na aquisição de agregado miúdo em volume.

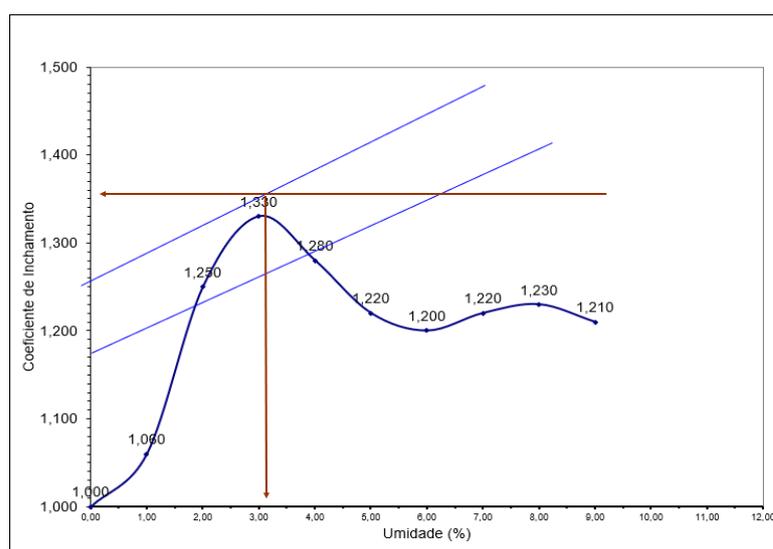


Figura 3: Relação entre umidade e coeficiente de inchamento da areia.

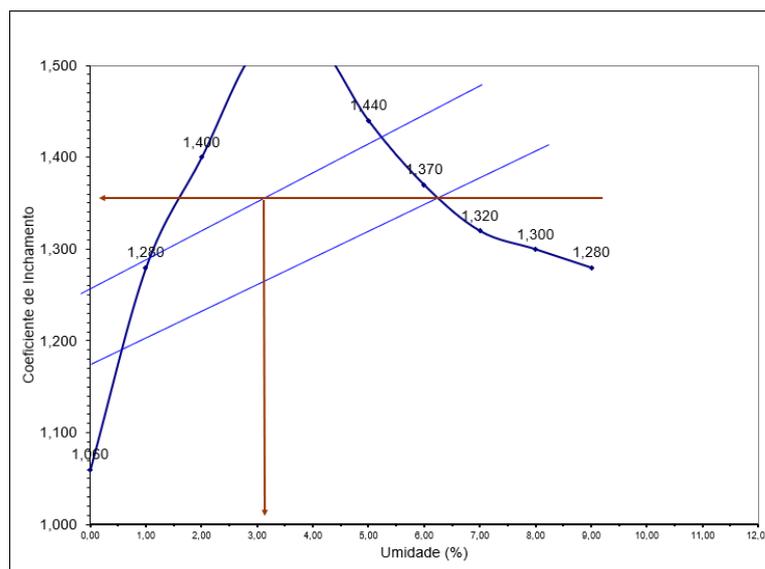


Figura 4: Relação entre umidade e coeficiente de inchamento do pó de pedra.

O teor de argila em torrões e materiais friáveis permite detectar a qualidade do agregado para o uso no concreto, com relação à contaminação com grãos pouco resistentes, que consequentemente trarão prejuízo à resistência do concreto e também à sua aparência, uma vez que eles, no caso do concreto estrutural, poderão produzir manchas na superfície e consequentemente problemas patológicos. Foi realizado o ensaio conforme a NBR 7218 (ABNT, 2010), onde a areia apresentou um percentual de 2,12% e o pó de pedra um valor de 0,16% (Tabela 4), estando enquadradas como bom material de utilização, visto que, o limite máximo permitido conforme a norma é de 3,0%.

O método de teor de material pulverulento permite determinar, por lavagem, a quantidade de material mais fino que a abertura da malha da peneira de 0,075 mm no agregado miúdo. O ensaio foi realizado obedecendo a NM 46 (ABNT, 2003). O excesso deste material poderá prejudicar a aderência entre a pasta de cimento e a areia, aumentando o consumo de água devido à alta superfície específica, acarretando após a cura a retração e diminuindo a resistência do concreto. Seu limite máximo permitido conforme a Norma é de 1,5%. Logo, como o teor de material pulverulento foram menores como a norma prescreve, caracterizou-se como ideal para a utilização (Tabela 4).

Tabela 4: Teor de argila em torrões e materiais pulverulentos.

Teor de argila em torrões e materiais friáveis – NBR 7218 (ABNT, 2010)	
Areia	2,12%
Pó de pedra	0,16%
Teor de material pulverulento – NBR NM 46 (ABNT, 2003)	
Areia	1,34%
Pó de pedra	0,99%

3.2 Métodos

Foram produzidos 2 tipos de concretos, a saber do tipo C e NC. O concreto do tipo C (convencional) foi assim denominado por ser tomado como referência nos resultados dos ensaios com 0% de materiais alternativos. Todavia, os concretos com pó de pedra e borrachas receberam

a denominação NC (não convencional). O traço seguido e a quantidade de materiais alternativos incorporados em cada concreto são resumidos na Tabela 5.

Tabela 5: Traço, nomenclatura dos concretos e (%) de substituição.

TRAÇO PILOTO	TRAÇO DE CONCRETO	SUBSTITUIÇÃO DOS AGREGADOS
1: 1,66: 2,69: 0,49	C	0%
	NC 10	10%
	NC 15	15%
	NC 20	20%
	NC 30	30%
	NC 40	40%
	NC 50	50%

Após a determinação do traço piloto, foram realizados alguns ensaios para verificação do comportamento do concreto produzido, entre os quais se destacaram: teor de ar incorporado, abatimento (trabalhabilidade – “Slump Test”), absorção de água e resistência à compressão axial.

O controle do teor de ar é fundamental no controle da qualidade do concreto, quer seja para verificar limites máximos e mínimos desejáveis de ar incorporado, ou para identificar teores de vazios de ar no concreto. Para cada tipo de concreto confeccionado (C e NC) foi utilizado o medidor de ar do tipo pressométrico, o qual consiste de um recipiente hermeticamente fechado, preenchido com concreto no estado fresco, ou seja, na medida que realizava os traços se preenchia o recipiente, como descrito na NBR NM 47 (ABNT, 2002).

Em posterior, realizava-se o “Slump Test” para verificar a trabalhabilidade do concreto em seu estado plástico, buscando medir sua consistência e avaliar se está adequado para o uso a que se destina. Foi utilizado o adensamento mecânico com o vibrador de imersão, obedecendo a norma NM 67 (ABNT, 1998).

Moldou-se 12 corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 100mm por 200mm de altura, seguindo a NBR 5738 (ABNT, 2015). Após a moldagem, os corpos de prova foram submetidos à cura inicial ao ar livre cobertos com uma lona por 24h e em seguida foram desmoldados e identificados, para posteriores ensaios de compressão com 7, 14 e 28 dias, obtendo-se a média aritmética de dois corpos de prova por cada idade, conforme a NBR 5739 (ABNT, 1994), através de uma prensa mecânica obtendo a resistência característica (F_{ck}) do concreto produzido em MPa.

No final, verificou os últimos 6 corpos de prova quanto ao ensaio absorção de água, determinando a massa da amostra ao ar e mantendo em estufa à temperatura de $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Em seguida, a massa da amostra após permanência na estufa de 24 h, 48 h e 72 h, e em posterior, por imersão em um tanque com água na temperatura de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$, durante 72 h. Por fim, determinou a massa, decorridas 24 h, 48 h e 72 h de imersão, assim como permanência em estufa em todos os tipos de traços confeccionados (C e NC).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 5 mostra os resultados obtidos de resistência à compressão axial por meio dos traços produzidos com os percentuais de materiais alternativos em substituição aos de uso convencional (10%, 15%, 20%, 30%, 40% e 50%) nas idades de 7, 14 e 28 dias.

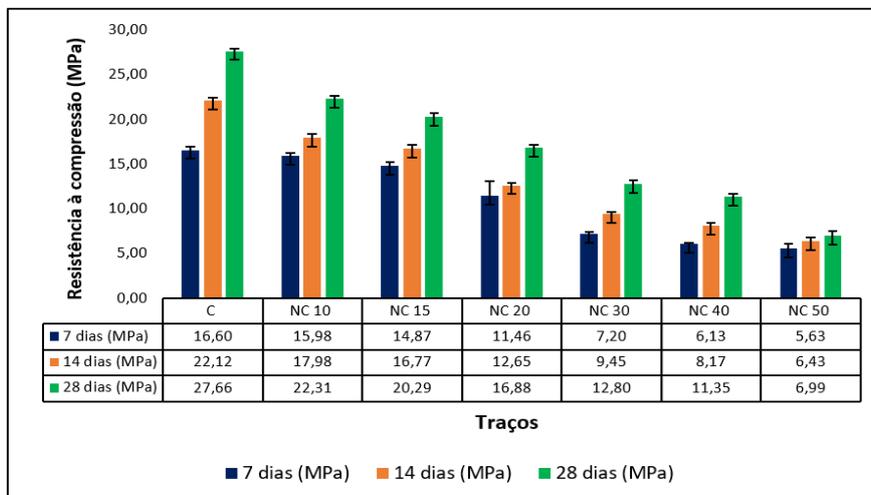


Figura 5: Dados das resistências à compressão axial dos traços produzidos.

Observa-se, quanto maior o teor de materiais alternativos utilizado menor é a resistência à compressão apresentada pelos concretos para uma mesma relação água/cimento. O tal comportamento pode ser creditado a uma maior incorporação de ar na produção de concreto com resíduo de borracha de pneu inservível e uma possível redução de aderência na interface resíduo/pasta de cimento. Tais considerações são compatíveis com as efetuadas por Segre (1999) e Giacobbe et al. (2008).

Na Figura 6, exibe os resultados obtidos do abatimento por tronco de cone (“Slump Test”) através dos traços produzidos com os percentuais de materiais alternativos em substituição aos de uso convencional (10%, 15%, 20%, 30%, 40% e 50%).

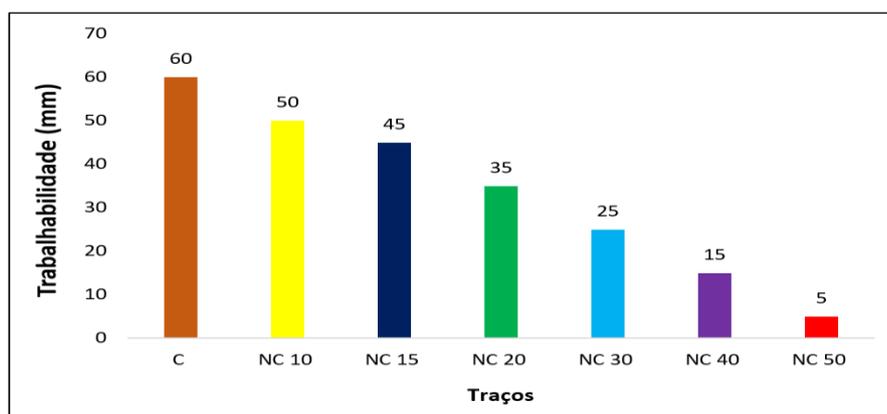


Figura 6: Resultados do abatimento do tronco de cone.

Na pesquisa de Moreira (2014), verificou que à medida que se adicionou borracha a trabalhabilidade do concreto diminuiu, inferindo-se devido ao travamento das partículas e proporcionando mais baixo abatimento. Constatou-se, portanto, a influência negativa do aumento da quantidade de borracha na trabalhabilidade e a necessidade, também negativa, de mais água

de amassamento para tornar a mistura trabalhável. Isto é, aumenta o fator a/c (melhora a trabalhabilidade), porém diminui a resistência.

Os valores alcançados após a realização do ensaio do teor de ar incorporado ao concreto no estado fresco estão apurados na Figura 7. Verificou-se que a substituição dos agregados de uso convencional em troca dos não convencionais com 50% diminuíram de 2% (C - referência) para um valor de 0,15% (NC 50).

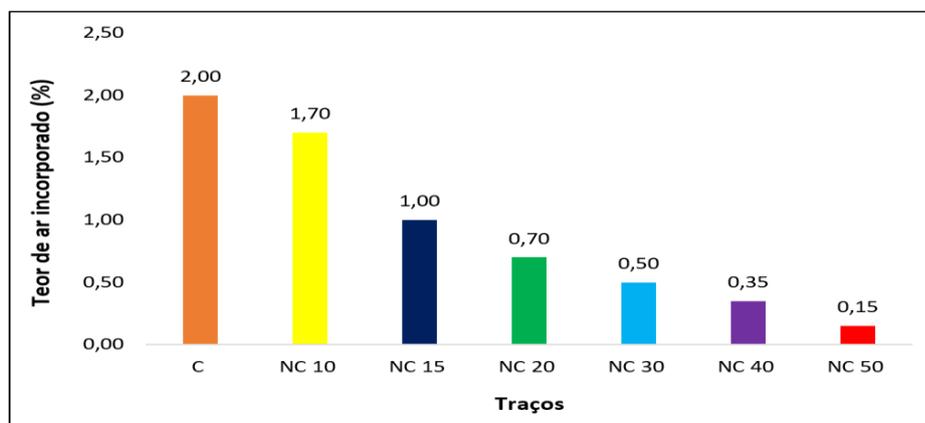


Figura 7: Teor de ar incorporado ao concreto em diferentes traços.

Observa-se na figura 8 que o uso de agregados alternativos, principalmente a borracha de pneu altera a propriedade de absorção de água por capilaridade no concreto, pois os traços de concreto com incorporação de borracha obtiveram taxas médias de absorção de água maiores que a taxa média de absorção da argamassa de referência. Tais considerações são compatíveis como efetuado por Pinto et al. (2016) em sua pesquisa.

Nota-se na Figura 8 os resultados obtidos com os traços de concreto produzidos em relação a absorção de água, conforme a NBR 9778 (ABNT, 1987). Percebe-se que o aumento de materiais alternativos, em especial a borracha de pneu aumenta de forma significativa a absorção de água, isto é, quase o dobro do valor em relação ao de referência. De acordo com Fionti (2002), este fator está ligado por conterem a maior quantidade de resíduos em suas composições, o que teria dificultado o processo de compactação e vibração dos corpos-de-prova.

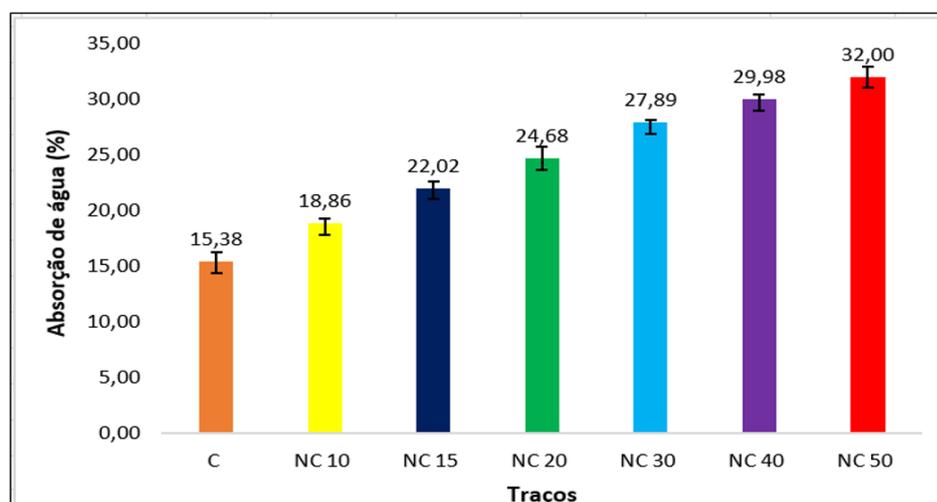


Figura 8: Ensaio de absorção de água nos concretos produzidos.

Quanto ao índice de vazios, Metha e Monteiro (2014) classificam concretos permeáveis com índice de vazios superior à 30% como altamente porosos e quando este é inferior à 15%, o concreto é considerado de baixa permeabilidade. Os concretos em estudo apresentaram resultado de índice de vazios entre 15,58% e 32,00%, enquadrando-os entre valor ideal e alta porosidade.

5 CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos, é possível destacar as seguintes conclusões:

- O teor de ar incorporado no concreto foi diminuindo na medida que aumentou o percentual de materiais alternativos em sua produção. Esse fator está ligado aos agregados de borracha de pneu inservível devido a sua forma redonda, o que diminuíram de forma significativa a relação superfície/volume, resultando em menor teor de argamassa para serem cobertos pela pasta, formando assim uma estrutura entrelaçada e resistindo ao fluxo normal do concreto sob seu próprio peso, daí o porquê que estas misturas apresentaram também uma menor fluidez;
- Os concretos com a incorporação maior de materiais alternativos apresentaram um gradativo aumento de absorção por imersão e índice de vazios, com conseqüente redução da massa específica no estado endurecido. Após os resultados, nota-se que esse tipo de concreto pode ser empregado na construção civil como isolante estrutural, impedindo a propagação de tensões, pois apresenta grande capacidade de absorver energia;
- Dado que a relação água/cimento foi fixado para todos os tipos de traços confeccionados, para o concreto convencional o abatimento do tronco de cone foi de 60 mm, enquanto que para o concreto com a inclusão de 50% de materiais alternativos foi de 5mm, ou seja, reduzindo o abatimento drasticamente e ficando sem trabalhabilidade;
- Assim como a trabalhabilidade, a resistência à compressão axial diminuiu na medida que aumentou o emprego de materiais alternativos. Todavia, até 15% dos materiais alternativos utilizados podem ser empregados para concretos para fins estruturais, conforme a NBR 8953 (ABNT, 2015). Na Europa, por exemplo, seguindo a EN 206-1, esse concreto poderia ser utilizado em até 20% de substituição desses.
- Por meio dessa pesquisa alguns benefícios que a utilização do pó de pedra e da borracha de pneu inservível em concretos pode trazer, tal como: custo reduzido com os materiais de uso convencional, sendo que podem ser produzidos próximos aos grandes centros urbanos e além do mais retirando-os da inutilidade e dos meios de nocividade do meio ambiente. Logo, deve sempre ser colocado em pauta as propriedades de cada material, a forma de como utilizar e o resultado final que o concreto irá obter com a utilização desses materiais.

6 REFERÊNCIAS

ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. (2015). Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL - MATERIAIS RECICLADOS E SUAS APLICAÇÕES, 4., 2011, Belo Horizonte- MG. *Anais...* Belo Horizonte: IBRACON, p. 43 - 56.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5738*. (2003). Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova: *NBR 5739*. Rio de Janeiro.

_____. *NBR 6467*: Determinação do inchamento do agregado miúdo. (2006). Rio de Janeiro.

_____. *NBR 7218*: Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. (2010). Rio de Janeiro.

_____. *NBR 9778*: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. (1994). Rio de Janeiro.

_____. *NBR 9939*: Determinação do teor de umidade total. (2011). Rio de Janeiro.

_____. *NBR NM 287*: Determinação do teor de umidade. (2012). Método da secagem por estufa. Rio de Janeiro.

_____. *NBR NM 46*: Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. (2003). Rio de Janeiro.

_____. *NBR NM 47*: Concreto - Determinação do teor de ar em concreto fresco. (2002). Rio de Janeiro.

_____. *NBR NM 67*: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone: *NBR NM 67*. (1998). Rio de Janeiro.

_____. *NBR NM 7217*: Determinação da composição granulométrica. (2009). Rio de Janeiro.

_____. *NBR NM 7219/82*: Determinação do teor de material pulverulento. (1987). Rio de Janeiro.

_____. *NBR NM 7251*: Determinação da massa unitária em estado solto. (1982). Rio de Janeiro.

_____. *NBR NM 8953*: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência (Concrete for structural use – Density, strength and consistence classification). (2015). Rio de Janeiro.

_____. *NBR NM 9776*: Determinação da massa específica pelo frasco de chapmam. (1987). Rio de Janeiro.

_____. *NBR NM 9937*: Determinação da massa específica pelo método da proveta. (1987). Rio de Janeiro.

BASHAR, S. M.; KHANDAKER, M.; H. ANWAR.; et al. (2012). Properties of crumb rubber hollow concrete block. *J. Cleaner Prod.*, 23, pp. 57-67.

BENAZZOUK, O. D; LANGLET, T.; MEZREB, K.; J.M; et al. (2007). Physico-mechanical properties and water absorption of cement composite containing shredded rubber wastes. *Cement Concr. Compos.* 29, pp. 732-740.

- BLESSEN, S. T.; GUPTA, R.; PANIKAR, J. (2015). Experimental and modeling studies on high strength concrete containing waste tire rubber. *Sustainable Cities Soc.*, 19, pp. 68-73.
- BLESSEN, T. S.; GUPTA, J.C; PANICKER, V. J. Recycling of waste tire rubber as aggregate in concrete: durability-related performance. *J. Cleaner Prod.* (2015). Available online 26 February.
- FERNANDES, A. V. B.; AMORIM, J. R. (2014). Concreto sustentável aplicado na construção civil. *Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT*, 2 (1), pp. 79-104.
- FIONTI, C.F.; AKASAKI J.L.; NIRSCHL G.C.; (2002). "Estudo da viabilidade de produção dos blocos estruturais de concreto com adição de resíduos de borracha."; *44º Congresso Brasileiro do Concreto (IBRACON)*, Belo Horizonte.
- GARRICK, G. M. (2001). *Analysis and Testing of Waste Tire Fiber Modified Concrete*. (M.S. thesis). Department of Mechanical Engineering, B.S., Louisiana State University.
- GIANSANTE, A. E.; LEVY, S. M. (2015). As implicações dos resíduos da construção civil na limpeza pública. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL - MATERIAIS RECICLADOS E SUAS APLICAÇÕES, 4., 2011, Belo Horizonte - MG. *Anais...* . Belo Horizonte: IBRACON, . pp. 39 - 42.
- GIRKAS, G.; NAGROCKIENE, D. Crushed rubber waste impact of concrete basic properties. *Constr. Build. Mater.*, 140, pp. 36-42, 2017.
- JALAL, M.; ARABALI, P.; GRASLEY, Z.; *et al.* (2020). Behavior assessment, regression analysis and support vector machine (SVM) modeling of waste tire rubberized concrete. *Journal of Cleaner Production*, 273, pp. 122960.
- JALAL, M.; NASSIR, N.; JALAL, H. (2019). Waste tire rubber and pozzolans in concrete: A trade-off between cleaner production and mechanical properties in a greener concrete. *Journal of Cleaner Production*, 238, pp. 117882.
- JANG, J. W.; YOO, T. S.; OHANDA, J. H.; IWASAKI, I. (1998). Discarded tire recycling practices in the United States, Japan and Korea. *Resour. Conserv. Recycl.*, 22, pp. 1-14, 1998.
- KAKROODI, A.R.; LEDUC, S.; NUNEZ, R. G.; RODRIGUES, D. (2012). Mechanical properties of recycled polypropylene/SBR crumb rubber blends reinforced by birch wood flour. *Polym. Polym. Compos.*, 20, (5), pp. 439-444.
- KARIMIPOUR, A.; GHALEHNOVI, M.; DE BRITO, Jorge. (2020). Mechanical and durability properties of steel fibre-reinforced rubberised concrete. *Construction and Building Materials*, 257, pp. 119463.
- KOGEL, J. E., TRIVEDI, N. C., and BARKER, J. M. (2016). *Industrial minerals and rocks*, 7th Ed., Society for Mining, *Metallurgy and Exploration*, Englewood, CO.
- LANGER, W. H., DREW, L. J., and SACHS, J. S. (2014). *Aggregate and the environment: Production, construction, reclamation*. *American Geological Institute*, Alexandria.

- MARTINS DE SOUZA et al. (2016). *Utilização do pó de pedra em substituição a areia natural na produção do concreto*. Faculdade Capixaba de Nova Venécia – Multivix Engenharia Civil. Nova Venécia, pp.18.
- MECHI, A.; SANCHES, D. L. (2010). mpactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. *Revista Estudos Avançados (USP)*, 24(68). São Paulo.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. (2014) *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*. São Paulo: Pini, 2014, 573 p.
- MENOSSEI, RÔMULO T. (2004). *Utilização do pó de pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto*. Ilha Solteira. 97p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista.
- MOREIRA, J.F.; FIDELIS, V.R.P.; DIAS, J.F. (2014). Concreto com borracha de pneus aplicado em ciclovia. *Revista Holos Environment*, 14(2), pp.185.
- NAIK, T. R.; MORICONI, G. (2015). Environmental-friendly durable concrete made with recycled materials for sustainable concrete construction, in: *International Symposium on Sustainable Development of Cement, Concrete and Concrete Structures*, Toronto, Ontario, October, pp. 5–7.
- NOBRE FILHO, et al. (2012). Sustentabilidade ambiental da extração de áridos: A lavra de areia no canal ativo do Rio Canindé – Paramoti – Ceará. *Geociências*. São Paulo, UNESC, 31(1), pp. 5-12.
- NORMA PORTUGUESA. (2007). *NP EN 206-1: Especificação, desempenho, produção e conformidade de betão*, Notas de estudo de Gestão Ambiental. Portugal.
- ONUAGULUCHI. O; PANESAR, D. K. (2014). Hardened properties of concrete mixes containing pre-coated crumb rubber and silica fume. *J. Cleaner Prod.* 82, pp. 125-131.
- PAPAKONSTANTINO, C. G.; TOBOLSKI, M, J. (2006). Use of waste tire steel beads in Portland cement concrete. *Cement Concr. Res.*, 36, pp. 1686-1691.
- PINTO, N. A.; FIORITI, C. F. (2016). AVALIAÇÃO DE ARGAMASSAS MISTAS DE REVESTIMENTO PRODUZIDAS COM BORRACHA DE PNEUS. *Revista TECNO-LÓGICA*. 20, (2), pp. 103.
- RASHID, K.; YAZDANBAKHSH, A.; REHMAN, M. (2019). Sustainable selection of the concrete incorporating recycled tire aggregate to be used as medium to low strength material. *Journal of Cleaner Production*, 224, pp. 396–410.
- SALLES, F. M.; TASHIMA, M. M.; FAZZAN, J. V.; CAMACHO, J. S.; AKASAKI, L.; MELGUES, J. L. P.; MENOSSEI, T. (2010). Pó de pedra: uma alternativa ou um complemento ao uso da areia na elaboração de misturas de concreto. *HOLOS*. 10(2).
- SEGRE, N. C. (1999) *Reutilização de borracha de pneus usados como adição em pasta de cimento*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas – Instituto de Química. Campinas.

- SILVA, L. S., DEMETRIO, J. C. C., DEMETRIO, F.J. C. (2015). *Concreto Sustentável: Substituição da Areia Natural por Pó de Brita para Confeecção de Concreto Simples*. Universidade Estadual do Maranhão, UEMA, São Luís – MA.
- SU, H.; YANG, J.; LING, T. C.; GHATAORA, G. S.; DIRAR, S. (2014). Properties of concrete prepared with waste tyre rubber particles of uniform and varying sizes. *J. Cleaner Prod.*, 91, pp. 288-296.
- WEIDONG, C. (2007). Study on properties of recycled tire rubber modified asphalt mixes using dry process. *Constr. Build. Mater.*, 21(5), pp. 1011-1015.
- WONG, S; TING, S. (2009). Use of recycled rubber tires in normal- and high-strength concretes. *ACI Mater. J.*
- XIANG, S. H. BAOSHAN. (2014). Recycling of waste tire rubber in asphalt and Portland cement concrete: an overview. *Constr. Build. Mater.*, 67 (Part B), pp. 217-224.
- YONGHUI, Z. H.; MIZI, F.; LIHUI, C. JIANDONG, Z. (2015). Lignocellulosic fibre mediated rubber composites: an overview. *Compos. B Eng.*, 76, pp. 180-191.

COMO CITAR ESTE ARTIGO:

Silva Neto, J. A. DA, Lima, M. S. DE, Azerêdo, A. F. N. DE, Azerêdo, G. A. DE (2021). Influência do pó de pedra e borracha de pneu inservível como agregados no concreto. *Holos*. 37(2), 1-17.

SOBRE OS AUTORES

J. A. DA SILVA NETO

Graduado de Tecnologia em Construção de Edifícios pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), Campus Campina Grande (2018). Mestrando em Engenharia Civil na Universidade Federal da Paraíba pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM - UFPB), com ênfase em Estruturas e Materiais. Atualmente desempenha estudos laboratoriais para diagnóstico experimental de argamassas e concretos utilizando metodologias para modelos sustentáveis, tendo como fundamentação o "pensar globalmente, agir localmente" ao focar na necessidade de realinhar essas práticas construtivas com modelos sustentáveis de habitação. Como pesquisador, têm experiência na área de Engenharia Civil, com foco em Tecnologia dos Materiais e Adequação Ambiental, atuando nos seguintes temas: compósitos de matrizes cimentícias (Concretos e Argamassas: propriedades reológicas, mecânicas e durabilidade), materiais pozolânicos, resíduos industriais, materiais ativados alcalinamente (argamassas e concretos) e construção sustentável.

E-mail: neto.anselmo00@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8355-1902>

M. S. DE LIMA

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (1985) e mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Campina Grande (2005). Atualmente é professor efetivo do Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia da Paraíba. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Processos Construtivos.

E-mail: marcos.lima2010@hotmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4804-6529>

A. F. N. DE AZERÊDO

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (2005), mestrado em Engenharia Urbana pela Universidade Federal da Paraíba (2007) e doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (2012) com período sanduíche de 1 ano na University of Illinois at Urbana-Champaign - EUA. Foi professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba no curso de técnico de Edificações (2014 a 2018) Atualmente (desde 08/2018) é professora adjunta da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e também é professora permanente (orientadora de mestrado) do Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). É líder do grupo de pesquisa Estruturas e Materiais (UFCG) e integrante de grupos de pesquisa no diretório do CNPq denominado: Edificações: Estruturas, Materiais e Desempenho (UFPB), Estudo e Aplicação de Tecnologia de Materiais para o Desenvolvimento do Ambiente Construído (UFPE), Materiais e construções sustentáveis (IFPB), experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Materiais e Componentes de Construção, atuando principalmente nos seguintes temas: materiais pozolânicos, ligantes, cal, argamassas convencionais e históricas e resíduos industriais.

E-mail: alinefnobrega@hotmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2327-8780>

G. A. DE AZERÊDO

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (1994), mestrado em Matériaux et Structures - Génie Civil - Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat (2001), em Lyon - França, mestrado em Estruturas - Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1997), na área de modelagem numérica pelo Método dos Elementos Finitos e doutorado em Génie Civil - Institut National Des Sciences Appliquées (2005), em Lyon - França. Atualmente é professor Associado II da Universidade Federal da Paraíba. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Construções Em Terra Crua, Alvenarias e em Estruturas de Concreto Armado, atuando principalmente nos seguintes temas: Reologia das pastas, argamassas e concretos, Comportamento estrutural de alvenarias e Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado. No ano de 2011, realizou na University of Illinois at Urbana-Champaign, nos Estados Unidos, o pós-doutorado no tema da Reologia Dinâmica de pastas cimentícias.

E-mail: givanildoazeredo@hotmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6572-8287>

Editor(a) Responsável: Francinaide Nascimento e Fábio Paiva

Pareceristas Ad Hoc: Gisele Cristina Antunes Martins e Mônica Regina Garcez

