

Contribuições aos estudos sobre a aplicação do Resíduo de Construção e Demolição (RCD) na composição de camadas de pavimentos no Brasil

Contributions to studies on the application of Construction and Demolition Waste (CDW) in the composition of pavement layers in Brazil

Construcción y Demolición (DCD) en la composición de capas de pavimentos en Brasil



Resumo



O Brasil ainda detém uma política conservadora de gestão dos seus resíduos sólidos de construção e demolição, quando comparado a países com maior índice de desenvolvimento, fato evidenciado pelo baixo número de obras que utilizam material reaproveitado. O Resíduo de Construção e Demolição (RCD) possui possibilidade de reutilização, além de ser importante matéria-prima para produção de agregados reciclados, reduzindo, dessa forma, a exploração de jazidas de materiais naturais convencionalmente utilizados pela construção civil. Este artigo objetiva contribuir com estudos relacionados ao reaproveitamento de agregados reciclados de RCD com fins de aplicação na composição de camadas de pavimentos rodoviários. Compendia avanços e identifica direções para pesquisas em andamento, ao destacar estudos científicos que abrangeram problemáticas sobre o tema, análises laboratoriais e seus respectivos resultados, evidenciando o comportamento do material quando submetido a diversos parâmetros de caracterização. São destacadas algumas inadequações do material, a fim de que sejam minimizados os efeitos negativos do RCD mediante sua utilização. Por fim, relata-se o estado da prática quanto à utilização do agregado reciclado de RCD na composição das camadas de pavimento, apresentando um estudo de caso de aplicação na cidade de Fortaleza. Diante do exposto, o RCD tem se apresentado como uma alternativa favorável quando levado em consideração seu potencial na produção de agregados, seu desempenho quando utilizado da maneira correta na composição de pavimentos rodoviários e sua importância na cadeia do reaproveitamento, a fim de reduzir impactos ambientais.



Palavras-chave: Resíduos. Pavimentação. Agregados reciclados.



Abstract

Brazil still has a retrograded policy of managing its solid construction and demolition waste, when compared to countries with a higher rate of development, a fact evidenced by the low number of works that use recycled material. The Construction and Demolition Waste (CDW) is a material that has a great possibility of reuse, as well as an important material for the production of recycled aggregates, a form of exploration, exploration of natural materials conventionally used in the construction industry. This article aims to contribute to studies related to the reuse of recycled CDW aggregates for application purposes in the composition of road pavement layers. It compendia advances and identifies directions for ongoing research, highlighting scientific studies that covered problems on the subject, laboratory analysis and their results, highlighting the behavior of the material when subjected to various characterization parameters. Some inadequacies of the material are highlighted in order to minimize the negative effects of CDW through its use. Finally, we report the state of practice regarding the use of recycled CDW aggregate

Davi de Melo Vieira  
davidemelovieira@outlook.com
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE

Mayara da Silva Lima  
tec.maylima@gmail.com
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará

Juceline Batista dos Santos Bastos  
juceline.santos@ifce.edu.br
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará

Teresa Raquel Lima Farias  
teresafarias@ifce.edu.br
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará

in the composition of pavement layers, presenting a case study of application in the city of Fortaleza. So, the CDW has been presented as a favorable alternative when considering its potential in the production of aggregates, its performance when used correctly in the composition of road pavements, and its importance in the chain of reuse in order to reduce environmental impacts.

Keywords: Waste. Paving. Recycled aggregates.

Resumen

El Brasil todavía detiene una política conservadora de gestión de sus desechos sólidos de construcción y demolición, cuando comparado con países con mayor índice de desarrollo, hecho evidenciado por el bajo número de obras que utilizan material reutilizable. El Desecho de Construcción y Demolición (DCD) posee posibilidades de reutilización, además de ser importante materia prima para producción de agregados reciclados, reduciendo, de esta forma, la explotación de yacimientos de materiales naturales convencionalmente utilizados por la construcción civil. Este artículo tiene el objetivo de contribuir con estudios relacionados con reutilización de agregados reciclados de DCD con fines de aplicación en la composición de capas de pavimentos de carreteras. Sintetiza avances e identifica direcciones para investigaciones en curso, al enfocar estudios científicos que abarcaron problemáticas sobre el tema, análisis de laboratorio y sus respectivos resultados, evidenciando el comportamiento del material cuando sometido a distintos parámetros de caracterización. Son enfocadas algunas inadecuaciones del material, para que sean minimizados los efectos negativos del DCD ante su utilización. Por fin, se informa el estado de la práctica cuanto a la utilización del agregado reciclado de DCD en la composición de las capas de pavimento, presentando un estudio de caso de aplicación en la ciudad de Fortaleza. Ante eso, el DCD está mostrando ser una alternativa favorable cuando llevado en consideración su potencial en la producción de agregados, su rendimiento cuando utilizado de la manera correcta en la composición de pavimentos de carreteras y su importancia en la cadena de reutilización, con la finalidad de reducir impactos ambientales.

Palabras-clave: Desechos. Pavimentación. Agregados reciclados.

1 Introdução

A indústria da construção civil comumente se comporta como produtora de resíduos quando se refere à destinação final do que é descartado dentro da sua linha de produção. Com o intuito de modificar essa postura, o setor da construção vem buscando novas condutas quanto ao que anteriormente era tratado como “lixo”. O que era visto como material de descarte, sob a ótica dessa nova conduta, agora é analisado como material passível de reutilização, mudando o modelo de produção extrativista de desenvolvimento adotado por vários países.

A construção sustentável tem como princípio a redução e prevenção de resíduos por meio da difusão de tecnologias limpas, e na reciclagem e reutilização de materiais, reaproveitando diversos tipos de materiais gerados pela própria indústria, como é o caso da reutilização de pneus na forma de combustível para fornos de altas temperaturas e a produção de agregados a partir do beneficiamento do Resíduo de Construção e Demolição (RCD).

Dentre as mais diversas formas de reaproveitamento utilizadas na construção civil, observa-se a importância dos problemas gerados devido a produção excessiva de RCD, resíduo que costuma ser volumoso, de baixa trabalhabilidade e de difícil destinação final quanto ao despejo. Os números de produção desse tipo de material são alarmantes no Brasil e no mundo, segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2017), no ano de 2017, foram recolhidos aproximadamente 45 milhões de toneladas de RCD em todo o país, o que representa uma diminuição de 0,1% em relação ao ano de 2016.

A partir do contexto apresentado, busca-se expor alternativas sustentáveis que possibilitem a inserção de materiais reaproveitados na construção civil, com base no melhor entendimento do processo de utilização desses materiais reincorporados, a fim de minimizar os impactos ambientais gerados. Ao longo deste artigo

discorre-se sobre o estado da arte de literaturas que versam sobre a reutilização do RCD, reunindo uma base teórica de estudos de propriedades e potencialidades do agregado reciclado quando incorporado em obras viárias. Por fim, explana-se sobre o estado da prática quanto à utilização do agregado reciclado de RCD na composição das camadas de pavimento, apresentando o estudo de caso da Avenida Crisanto Moreira da Rocha, na cidade de Fortaleza.

Este artigo tem como objetivo contribuir com estudos sobre a aplicação do Resíduo de Construção e Demolição (RCD) na composição de camadas de pavimentos no Brasil, avaliando a possibilidade de reutilização de um material tido como inservível, dando a este, oportunidade de ser utilizado em novas obras, e, possivelmente, reduzir custos e impactos ambientais.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Considerações sobre Resíduo de Construção e Demolição (RCD)

A Norma Brasileira (NBR) 10.004 (ABNT, 2004a) apresenta classificação dos resíduos sólidos e conceitua como resíduos sólidos aqueles no estado sólido ou semissólido que são gerados nas atividades doméstica, comercial, agrícola, de serviços, hospitalar, industrial e de varrição. Nessa definição estão inclusos os provenientes de equipamentos e instalações de controle de poluição, os lodos gerados do sistema de abastecimento de água, além de determinados líquidos cujas características inviabilizem seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos de água. Sob a ótica normatizada, de acordo com a classificação apresentada na NBR 10.004 (ABNT, 2004a), o RCD enquadra-se na condição de resíduo de Classe II B, cuja classe faz menção aos resíduos perigosos que não reagem ou dissolvem em água destilada.

Os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) constituem parte substancial do volume total de resíduos sólidos produzidos em todo o mundo (RAO *et al.*, 2007). No caso do Brasil, apesar do grande desconhecimento ainda existente por parte dos gestores quanto aos volumes de resíduos gerados no país, estudos da Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON, 2015) revelam que aproximadamente 50 a 70% dos resíduos sólidos urbanos no Brasil são provenientes da construção civil. Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe, 2017), no ano de 2017 foram produzidos em torno de 80 milhões de toneladas de resíduos sólidos em todo o país, dos quais 45 milhões de toneladas foram coletados sob a forma de RCD, o que reitera a margem apresentada pela Abrecon, visto que essa parcela corresponde a cerca de 60% do total de resíduo gerado no referido ano.

Aproximando as análises quantitativas da realidade local, o município de Fortaleza apresenta uma taxa de produção de RCD de cerca de 257.690 toneladas.ano⁻¹, o que reflete em uma produção *per capita* de 0,12 toneladas.habitante⁻¹.ano⁻¹ (OLIVEIRA *et al.*, 2011). O Plano de Gestão de Resíduos Sólidos existe na cidade de Fortaleza desde 2006, com sua última versão datada do ano de 2012, e a partir deste a cidade gere suas políticas de coleta, transporte, destinação e reaproveitamento do RCD produzido na região metropolitana. Comparativamente aos dados anteriormente citados, demonstra-se uma baixa expressividade da produção local de RCD quando comparada aos dados de geração nacional.

2.2 Características exigidas por norma para utilização de agregados reciclados em camadas de pavimentos

Com o objetivo de estabelecer especificações para execução de camadas granulares de pavimentos (base, sub-base e reforço do subleito) e de revestimento primário com a utilização de agregado reciclado de resíduo da construção civil em obras de pavimentos, a NBR 15115 (ABNT, 2004b) indica parâmetros limites a serem aceitos e o potencial de uso desses resíduos.

No que diz respeito a caracterização do material reciclado, a NBR 15115 (ABNT, 2004b) indica que a dimensão máxima dos grãos deve ser de 63,5 mm, com uma tolerância de 5% da porcentagem em massa retida na peneira 63,5 mm, limitando-se a 2/3 da espessura da camada compactada. Quanto à granulometria, a disposição dos grãos deve ser bem graduada e contínua, com coeficiente de uniformidade maior ou igual a 10. Ainda, o percentual de material que passa pela peneira com abertura de malha de 0,42 mm deve estar entre 10% e 40%.

A porcentagem de grãos de forma lamelar no agregado reciclado a ser utilizado em obras de pavimentação não deve ultrapassar 30%. Deve-se evitar a presença de materiais indesejáveis como madeiras, plásticos, gessos vidros, tubulações, forros, papéis e fiações elétricas ou materiais não inertes ou orgânicos, que pertençam às classes B, C ou D pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) n° 307 (2002). Para grupos distintos, a porcentagem máxima de materiais indesejáveis é de 3% e a porcentagem máxima de materiais indesejáveis no mesmo grupo é de 2%, não sendo permitida a inserção de materiais nocivos à saúde do trabalhador que irá manuseá-lo ou ao meio ambiente.

De acordo com a ABNT (2004b) tendo em consideração o comportamento mecânico do material, o agregado reciclado deve ser classificado em função do tipo de emprego possível na execução de camadas que compõem os pavimentos. Para materiais utilizados como reforço do subleito, o valor de Índice de Suporte Califórnia (ISC) ou *California Bearing Ratio* (CBR), que é o parâmetro utilizado no dimensionamento de camadas de pavimentos flexíveis adotado, deve ser maior ou igual a 12%, com uma expansibilidade igual ou inferior a 1% e compactados na energia normal. Materiais utilizados para a execução de camadas de sub-base devem apresentar CBR igual ou superior a 20% e expansibilidade igual ou inferior a 1%, para uma energia de compactação intermediária. Já as camadas de base devem apresentar valores de CBR igual ou superior a 60% e uma expansibilidade igual ou inferior a 0,5%, com uma energia de compactação intermediária, sendo permitida a utilização desse material de base apenas em vias de tráfego onde N é igual ou inferior a 106 repetições do eixo-padrão de 80 kN no período de projeto.

Com relação as condições de execução, conforme ABNT (2004b) a espessura mínima de qualquer camada, seja de base, sub-base ou reforço do subleito, deve ser de 10 cm após a compactação, e a máxima de 20 cm. Em casos onde uma espessura final maior que 20 cm for exigida, indica-se que ela deva ser executada de maneira subdivididas em camadas parciais. No ato da execução observa-se também que o teor de umidade da camada subjacente precisa situar-se no intervalo de $\pm 3\%$ em relação à umidade ótima obtida em laboratório e o grau de compactação para cada camada a ser executada deve atender às especificações do controle.

No que diz respeito a compactação, a energia de compactação mínima admitida para camadas de reforço do subleito é a energia normal, e para camadas de base e sub-base deve ser utilizada a energia intermediária, apesar do fato de novas pesquisas apontarem a possibilidade de utilização de energias de compactação superiores as convencionais dispostas na norma. O teor de umidade no ato da compactação deve manter-se entre o intervalo de $\pm 1,5\%$ em relação ao valor de umidade ótima encontrado em laboratório. No Quadro 1 apresenta-se síntese das especificações gerais mais importantes, dispostas na NBR 15115 (ABNT, 2004b).

Quadro 1 – Resumo das especificações dispostas na NBR 15115 (ABNT, 2004b)

Características	Especificações
Dimensão máxima dos agregados	cerca de 63 mm
Granulometria	Grãos de disposição contínua, bem graduados e não uniformes
Coeficiente de uniformidade	≥ 10
Percentual de material passante na peneira 0,42 mm	$10\% < x < 40\%$
Porcentagem de grãos de forma lamelar	$< 30\%$
Percentual máximo de materiais indesejáveis	3% para materiais de grupos distintos e 2% para materiais do mesmo grupo
Valores de CBR	Variáveis de acordo com a camada e tipo de utilização da via
Valores de expansibilidade	Variáveis de acordo com a camada e tipo de utilização da via, não ultrapassando o valor de 1%
Espessura mínima da camada	10 cm
Espessura máxima da camada	20 cm*
Intervalo admissível para os valores de umidade da camada subjacente	$\pm 3\%$ em relação a umidade ótima obtida em laboratório
Intervalo admissível para os valores de umidade no ato da compactação	$\pm 1,5\%$ em relação a umidade ótima encontrada em laboratório
Energias de compactação mínimas	Reforço do Subleito: Normal. Base e Sub-base: Intermediária*

(*) Itens que podem apresentar variações de acordo com as solicitações de projeto.

Fonte: Elaboração própria (2020).

3 Metodologia

Esta pesquisa fundamentou-se na seleção, registro, observação e análise de 12 estudos realizados na última década, relacionados ao reaproveitamento do RCD para fins de pavimentação rodoviária, seguido da apresentação do estado da prática da Avenida Crisanto Moreira da Rocha, localizada na cidade de Fortaleza, onde as camadas granulares do pavimento flexível foram executadas utilizando agregado reciclado de RCD. A metodologia utilizada foi a exploratória descritiva, ou seja, os dados foram obtidos a partir de pesquisa documental e bibliográfica.

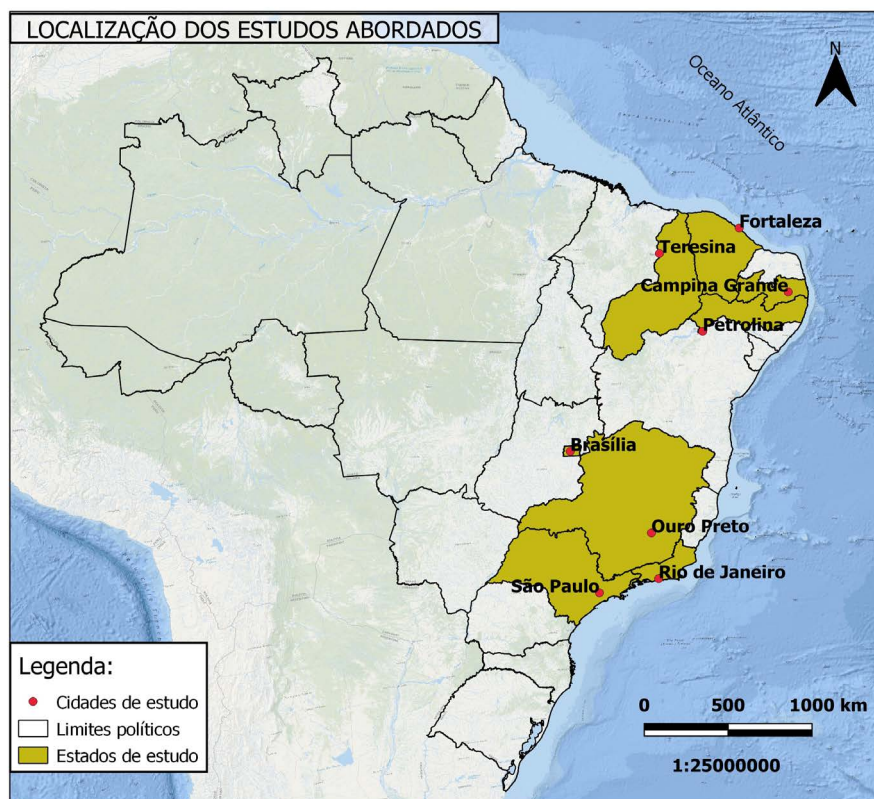
No Quadro 2 são sumarizados os estudos analisados ao longo do artigo que fundamentaram a avaliação da empregabilidade de agregados reciclados de RCD na pavimentação. Na Figura 1 ilustra-se a localização dos estados e cidades onde as referidas pesquisas foram realizadas.

Quadro 2 – Resumo de estudos avaliados

Título	Tipo	Autor (Ano)	Instituição
Análise mecânica de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) por meio de ensaios empíricos e mecanísticos	Artigo	Lima <i>et al.</i> (2018)	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
Comportamento mecânico de um agregado reciclado a partir de Resíduos de Construção e Demolição submetidos a carregamentos cíclicos	Tese	Goméz (2016)	Universidade de Brasília
Agregado reciclado de construção e demolição com adição de aglomerantes hidráulicos como sub-base de pavimentos	Dissertação	Beja (2013)	Universidade de São Paulo
Estudo de viabilidade econômica para o uso de Resíduos de Construção e Demolição em camadas de base e sub-base	Monografia	Correia (2014)	Universidade Federal do Rio de Janeiro
Caracterização de concreto permeável produzido com agregados reciclados de construção e demolição para utilização em pavimentação permeável em ambiente urbano	Dissertação	Vidal (2014)	Universidade Federal do Rio de Janeiro
Estabilização de solos com resíduos da construção e demolição reciclado (RCD-R) para fins rodoviários	Artigo	Palácio (2014)	Universidade Católica de Brasília
Comportamento mecânico de resíduos beneficiados da construção e demolição utilizados na fabricação de concreto e estabilização de solos	Dissertação	Sampaio (2014)	Universidade Católica de Pernambuco
Estudo da aplicação de RCD oriundos de obras na UFCG em misturas asfálticas	Artigo	Silva <i>et al.</i> (2013)	Universidade Federal de Campina Grande
Utilização de agregados reciclados provenientes de RCD em substituição ao agregado natural no concreto asfáltico	Dissertação	Brasileiro (2013)	Universidade Federal do Piauí
Estudo do comportamento de um agregado reciclado de concreto para utilização na construção rodoviária	Dissertação	Grubba (2009)	Universidade de São Paulo
Estudo do agregado reciclado de construção civil em misturas betuminosas para vias urbanas	Dissertação	Silva (2009a)	Universidade Federal de Ouro Preto
Utilização de materiais alternativos para a construção de pavimentos urbanos na Região Metropolitana de Fortaleza	Dissertação	Silva (2009b)	Universidade Federal do Ceará

Fonte: Elaboração própria (2020).

Figura 1 – Mapa com destaque para os estados e cidades do Brasil onde as pesquisas analisadas foram realizadas



Fonte: Elaboração própria (2020).

4 Resultados e Discussão

4.1 Considerações sobre a utilização de RCD para fins de pavimentação asfáltica

Com o intuito de verificar o comportamento mecânico de agregados reciclados quando utilizados em obras de pavimentação, Lima *et al.* (2018) a partir de ensaios mecanísticos e empíricos, avaliaram material reciclado originado de uma usina de reciclagem de Fortaleza. Analisaram o desempenho do agregado reciclado de RCD puro, na composição de 50% de agregado reciclado e 50% de solo arenoso, comparando ambos ao comportamento do solo natural. Os materiais foram submetidos a diferentes energias de compactação e foram determinados Índice de Suporte Califórnia (CBR) e Módulo de Resiliência (MR), parâmetros utilizados no dimensionamento de camadas de pavimentos rodoviários. Observaram que para a amostra de solo estabilizado com RCD, os valores de CBR mais elevados foram obtidos para as maiores energias, evidenciando a importância de uma maior energia de compactação que permita a quebra desses agregados durante a construção das camadas de pavimentos, evitando futuras patologias no pavimento durante sua vida útil associados à quebra de grãos. Além disso, a viabilidade técnica foi avaliada a partir de valores de MR e CBR obtidos para o RCD puro e para o solo estabilizado com RCD, levando-se em consideração o comportamento mecânico desses materiais, para serem utilizados em camadas de bases rodoviárias, além da similaridade do RCD com os agregados convencionais e conformidade às especificações para uso em pavimentação.

Gómez (2016) analisou o comportamento mecânico de um agregado reciclado a partir de RCD submetido a carregamentos cíclicos, onde o principal parâmetro avaliado foi a deformação permanente (afundamentos que ocorrem em trilha de rodas). Verificou que a maior parte da degradação do material não foi ocasionada pela repetição de cargas sobre o pavimento, todavia ocorreu no processo de compactação. O estudo evidenciou também a vulnerabilidade do agregado reciclado quanto à umidade e à variação de tensões, porém, ainda assim, as amostras de RCD apresentaram resultados satisfatórios para a aplicação em camadas de base e sub-base.

A pesquisa realizada por Beja (2014), embasa a premissa da utilização de agregados reciclados de RCD aliado a aglomerantes para a obtenção de camadas que suportem maiores tensões, com maior capacidade estrutural. Bem como consistiu em avaliar a adição de aglomerantes hidráulicos em agregados reciclados de RCD utilizados em camadas de sub-base de pavimentos. Os resultados do estudo mostraram que as misturas de agregados reciclados com aglomerantes como cal hidratada ou cimento Portland apresentaram menores valores de deformação permanente, mesmo para níveis elevados de tensões.

Correia (2014) realizou um estudo de viabilidade econômica para o uso de RCD em camadas de base e sub-base. Analisou resultados do ensaio CBR e a expansibilidade do material reciclado, encontrando CBR de 194% (submetido à energia modificada) e expansibilidade praticamente nula. Já para as camadas de base e sub-base, executadas com agregado natural convencional, foram encontrados valores de CBR de 82% e expansibilidade nula para a camada de base, além de CBR de 26,7% e expansibilidade de 0,49% para a sub-base, ambos submetidos à energia modificada. A utilização de RCD nessas camadas, além de apresentar melhores resultados para valores de CBR e expansibilidade, também apresentou viabilidade econômica 54% superior, quando comparada à utilização de agregados naturais.

Vidal (2014), por sua vez, realizou um estudo de produção de placas de concreto permeáveis utilizando agregado graúdo reciclado de RCD para aplicação em pavimentação. O autor coletou RCD e triturou os agregados reciclados, além de caracterizar e avaliar parâmetros mecânicos das placas de concreto permeáveis, sendo estes: resistência à compressão axial e resistência à tração por compressão diametral (RT). Para os valores de RT analisados pelo autor, todas as amostras que contavam com a presença de agregado reciclado obtiveram melhores respostas de resistência que as amostras com material natural.

Palacio (2014) avaliou o comportamento mecânico de um solo associado ao material reciclado de RCD, buscando entender a influência do material reciclado na estabilização e a viabilidade de utilização dessa estabilização para uso na execução de reforço do subleito e sub-base em obras rodoviárias. O autor analisou amostra composta por 15% de material reciclado, proveniente dos RCD do estádio Mané Garrincha na cidade de Brasília, e 85% de solo natural (Latosolo Vermelho) proveniente do Centro de Reuso da Universidade Católica de Brasília. No que concerne aos valores de CBR obtidos, o solo natural apresentou um melhor desempenho quando submetido à energia modificada, no valor de 15%. Já a estabilização de materiais naturais com reciclados, quando submetida à energia modificada, apresentou um valor de CBR de 54%. Os resultados evidenciam que os melhores desempenhos de CBR foram obtidos a partir da mistura de solo e agregado reciclado de RCD.

Sampaio (2013) realizou verificações para a utilização de agregado reciclado em diferentes percentuais para a composição de concretos, e misturado a solo, visando a aplicação em obras de contenção. O material utilizado na pesquisa foi obtido da Central de Tratamento de Resíduos de Petrolina e foram realizados três tipos de estabilizações, nas proporções de: 25% de solo e 75% de RCD, 50% de solo e 50% de RCD e 75% de solo e 25% de RCD; além da avaliação apenas do RCD (100%). A amostra de solo natural apresentou CBR de 69%, enquanto a amostra de material reciclado apresentou CBR de 20%. Para as misturas, aquelas com maiores percentuais de RCD apresentaram menores valores de CBR, sendo que para 75%, 50% e 25% de RCD, os valores de CBR foram respectivamente, 8,4%, 17,4% e 43,2%. Além disso, o RCD possuía em sua composição de 23% de materiais não identificados.

A queda de desempenho das amostras analisadas por Sampaio (2013), ao passo que se aumentou a quantidade de material reciclado inserido no solo natural, pode relacionar-se com fatores como elevação da absorção de água pelos agregados reciclados (com maior porosidade), ou a distribuição granulométrica irregular do RCD. Isso mostra a importância da caracterização desses resíduos, tendo em vista que caso esses materiais sejam inadequados, a estabilização pode piorar o comportamento de camadas dos pavimentos.

Silva *et al.* (2013) avaliaram a aplicação de RCD oriundo de obras na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) em concretos asfálticos (CA). O material foi homogeneizado e britado em laboratório e, após a dosagem Marshall, foram submetidos aos ensaios de dano por umidade induzida e de determinação da resistência à tração por compressão diametral. As quantidades de filer reciclado de RCD incorporados aos CAs foram de 3,9% e 6,5%, sendo esses percentuais definidos a partir do ajuste realizado na granulometria da Curva Fuller de cada mistura, para que atendessem aos limites estabelecidos pelo Departamento Nacional

de Infraestrutura de Transportes (DNIT) para serem classificados na faixa granulométrica B. Os resultados ratificam que agregados reciclados podem ser incorporados em concretos asfálticos, promovendo a substituição dos materiais naturais convencionais. Entretanto, ainda que obtidos valores satisfatórios para o desempenho das misturas contendo agregado reciclado, o melhor resultado observado diante da comparação entre as três análises foi obtido pela mistura asfáltica sem adição de agregado reciclado de RCD, o que denota menor resistência mecânica das misturas asfálticas com agregado reciclado de RCD, devido ao maior consumo de ligante, tendo em vista maior porosidade apresentada pelo RCD.

Brasileiro (2013) também avaliou a substituição do agregado natural no concreto asfáltico por RCD. A problemática levantada, no entanto, diz respeito à quantidade de ligante absorvida pelo material oriundo da reciclagem do RCD. Observou-se que nas misturas que receberam 25% de agregado fino e 50% de RCD (agregado grosso) o consumo de ligante foi muito próximo, respectivamente 6,4 e 6,7%, constatando que a porosidade e a absorção do agregado miúdo reciclado foram superiores à do agregado graúdo. O fato se comprovou nas misturas realizadas com 75% e 100% de RCD, que obtiveram, respectivamente, consumo de ligante de 10,9% e 10,5%. A mistura com 75% de agregado reciclado recebeu maior percentual de pó de resíduo que a de 100%, o que justificou o maior consumo de ligante. Os resultados obtidos na pesquisa inferem que misturas de solo natural e agregado reciclado de RCD apresentam menor quantidade de ligante asfáltico quanto menor for o percentual de RCD presente na amostra.

Grubba (2009) analisou comportamento mecânico e características físicas de agregado reciclado de concreto (ARC). Comparou o desempenho do ARC com amostras de solo laterítico e de agregado natural. Para o CBR, o autor observou que o agregado natural é mais sensível à umidade de compactação do que o agregado reciclado. O valor máximo de CBR obtido por Grubba para o agregado reciclado foi de 176% para energia de compactação modificada, enquanto o agregado natural apresentou valor máximo de 185% para a mesma energia de compactação. Analisou a influência da energia de compactação nos valores de CBR e verificou que a energia modificada resultou em um incremento de 51% na capacidade de suporte comparativamente àquela obtida na energia intermediária. Na avaliação do módulo de resiliência, ambos, agregados natural e reciclado, apresentaram valor médio de aproximadamente 220 Mpa.

Na investigação de Silva (2009a), o autor avaliou quatro projetos de mistura quente com a inclusão de agregados de RCD, onde foram utilizados CAP 30/45 e 50/70, além de duas faixas granulométricas de agregado, B e C, de acordo com a classificação do DNIT. Com a intenção de comparar os diferentes projetos de misturas, foram realizados caracterização de agregado e dosagem do concreto asfáltico pelo método Marshall. Para ambos os ligantes analisados na pesquisa, os teores ótimos foram situados entre 9% e 9,5%, valores significativamente elevados quando comparados aos valores obtidos em misturas convencionais de agregado natural (cerca de 6%), reflexo do alto potencial de absorção observado em misturas que contêm agregados reciclados. Ainda que obtido melhor desempenho nas misturas onde foi utilizado o ligante mais consistente (CAP 30/45), o autor concluiu que há viabilidade técnica de agregados reciclados de RCD substituindo os agregados naturais na constituição de camadas betuminosas para vias de pouco tráfego, porém como o ligante é o insumo mais caro na mistura, a utilização do agregado reciclado em misturas asfálticas pode conduzir a maiores custos em obras, por apresentar maior absorção de ligante.

Silva (2009b) se atém à estabilização granulométrica de dois tipos de solos da Região Metropolitana de Fortaleza, um arenoso e um argiloso, com RCD puro de dimensões graúdas em três proporções distintas (40%, 50% e 60%). Foram realizados ensaios de caracterização ambiental, mecânica e análises de imprimação betuminosa. Quanto à imprimação, o autor propôs a substituição do asfalto diluído de cura média (CM-30) por uma opção alternativa executada com biodiesel de soja (CAP/BIO). O autor analisou corpos de prova que simulam bases granulares de solo estabilizadas com RCD imprimadas com dois ligantes em três taxas distintas (0,8 L/m², 1,0 L/m², 1,2 L/m²). Em praticamente todos os cenários, os resultados experimentais de penetração indicaram valores apropriados, em que tanto para solos arenosos quanto para argilosos, as misturas de solo com adição de 50% de RCD foram as mais indicadas.

Compendia-se no Quadro 3 as principais aplicabilidades, parâmetros avaliados e resultados obtidos nos estudos analisados ao longo desta revisão sistemática. Com exceção de um autor que avaliou a aplicação do RCD na confecção de placas de concreto (pavimento rígido), todas as demais pesquisas avaliaram a

empregabilidade do RCD em pavimentos do tipo flexível. Observa-se que 75% dos estudos se destinaram a verificar a potencialidade de aplicação do material em camadas granulares de pavimentos, os demais 25% (3 estudos) avaliaram o emprego do material em misturas asfálticas.

Quadro 3 – Compilação dos principais resultados e conclusões dos estudos analisados

Autor/Ano	Tipo de pavimento	Principal parâmetro analisado	Resultados e Conclusões do Estudo
Lima <i>et al.</i> (2018)	Flexível	CBR e MR	Para maiores energias de compactação, as amostras constituídas de agregado reciclado de RCD apresentam maiores valores de CBR. Os valores de MR e CBR sugerem a viabilidade técnica do RCD puro e da mistura entre solo e RCD a serem utilizados em bases rodoviárias
Goméz (2016)	Flexível	Deformação permanente	A maior parte da degradação do material foi ocasionada no processo de compactação e não após repetidas cargas sobre o pavimento. O estudo evidenciou também a vulnerabilidade do agregado reciclado quanto à umidade e à variação de tensões, porém as amostras de RCD apresentaram resultados satisfatórios para a utilização em camadas de base e sub-base
Beja (2013)	Flexível	Deformação permanente	As misturas de agregados reciclados que contêm aglomerantes como cal hidratada ou cimento Portland apresentam menores valores de deformação permanente mesmo para níveis mais altos de tensões
Correia (2014)	Flexível	CBR	Além de apresentar melhores resultados para os valores obtidos de CBR e expansibilidade, a viabilidade econômica do agregado reciclado foi de 53,6% maior comparada à utilização de agregados naturais
Vidal (2014)	Rígido	Resistência à compressão axial e resistência à tração (RT) por compressão diametral	Para os valores de resistência à compressão diametral, todas as amostras que contavam com a presença de agregado reciclado obtiveram melhores respostas de resistência que as amostras com material natural. Já para a resistência à tração axial observou o comportamento contrário, com melhores resultados da amostra de agregado natural
Palácio (2014)	Flexível	CBR	A pesquisa apresenta uma comparação entre solo natural (85%) e o agregado reciclado (15%), onde os melhores resultados de CBR são obtidos pela mistura de solo e agregado de RCD
Sampaio (2014)	Flexível	CBR	A pesquisa mostrou que para maiores percentuais de agregado reciclado de RCD nas amostras analisadas, menor foi a sua capacidade de suporte. Destaca-se que o RCD dessa pesquisa possuía em sua composição 23% de materiais não identificados e esses podem ter contribuído para esse desempenho inferior
Silva <i>et al.</i> (2013)	Flexível	Resistência à tração (RT) por compressão diametral	O estudo apresentou valores satisfatórios para as misturas asfálticas que utilizaram agregado reciclado em sua composição, porém melhor desempenho foi obtido em misturas com agregado natural sem RCD
Brasileiro (2013)	Flexível	Percentual de ligante	Os resultados obtidos na pesquisa inferem que misturas de solo natural e agregado reciclado de RCD apresentaram menor quantidade de ligante asfáltico quanto menor for o percentual de RCD presente na amostra
Grubba (2009)	Flexível	CBR e MR	Observou comportamento mecânico de agregado reciclado de concreto (ARC) muito próximo ao do agregado natural ao analisar valores de CBR e MR
Silva (2009a)	Flexível	Deformação permanente	Constatou que o RCD é indicado como substituto de agregados naturais em revestimentos asfálticos de vias urbanas submetidas a tráfego leve
Silva (2009b)	Flexível	CBR	Obteve respostas satisfatórias em todas as misturas analisadas em seu estudo, no entanto as misturas de solo natural adicionadas 50% de agregado reciclado foram as mais indicadas tanto para solos arenosos, como argilosos

Fonte: Elaboração própria (2020).

No Quadro 4 são apresentadas as composições dos diferentes resíduos reciclados que foram utilizados pelos diferentes autores elencados, com o intuito de relacionar ao desempenho mecânico do RCD para as diferentes aplicações, além de valores de CBR, principal parâmetro quantificado nos diferentes estudos.

Quadro 4 – Compilação dos materiais constituintes do RCD associados aos valores máximos de CBR obtidos nas amostras

Autor (Ano)	Concretos e Argamassas	Pedregulhos	Cerâmica Vermelha ou de Revestimento	Mármore e granitos	Outros	Materiais Indesejáveis	Valores Máximos de CBR Obtidos
Lima <i>et al.</i> (2018)	A pesquisa não traz informações sobre a composição de RCD						147,20
Goméz (2016)	41,41	41,99	2,15	14,45	-	-	163,00
Beja (2014)	42,00	44,00	13,00	-	-	1,00	51,00
Correia (2014)	89,57	-	10,08	-	-	0,35	194,00
Vidal (2014)	Composto substancialmente por cerâmicas e concretos						-
Palácio (2014)	A pesquisa não traz informações sobre a composição de RCD						54,00
Sampaio (2013)	31,00	-	46,00	-	23,00	-	19,80
Silva <i>et al.</i> (2013)	63,55	-	31,07	6,59	3,10	0,28	-
Brasileiro (2013)	45,47	24,19	24,72	2,53	-	-	-
Grubba (2009)	Agregado reciclado de concreto (ARC)						176,00
Silva (2009a)	64,90	23,60	10,70	-	1,20	-	-
Silva (2009b)	A pesquisa não traz informações sobre a composição de RCD						239,00

Fonte: Elaboração própria (2020).

Verifica-se que quase 70% dos estudos avaliaram mecanicamente a capacidade de aplicação do RCD em pavimentos através da determinação do parâmetro CBR que é utilizado no dimensionamento de pavimentos. Além disso, cerca de 63% dos estudos que avaliaram este parâmetro obtiveram valores superiores a 60%, demonstrando o potencial do material a ser aplicado em camadas mais nobres (base) de pavimentos. Ainda, dois estudos apresentaram valores de CBR inferiores a 60%, porém esses foram superiores a 20% indicando aplicação do material para camadas de sub-bases. Apenas um estudo apresentou valor de CBR inferior a 20% o que impossibilitaria a aplicação do material em camadas de sub-base rodoviárias.

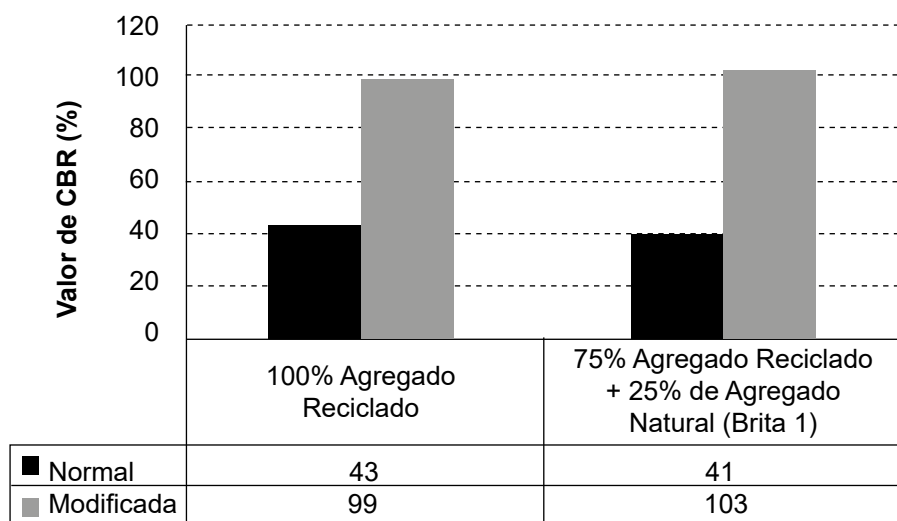
Diante dos estudos avaliados, observa-se o êxito no que diz respeito ao emprego e ao desempenho de agregados reciclados de RCD como materiais constituintes de camadas de pavimentos, seja nos casos onde o material reciclado foi utilizado em sua totalidade, ou seja, em casos onde foi associado a materiais naturais.

4.2 Estado da prática de obras em Fortaleza que utilizaram agregado reciclado de RCD para execução de camadas de pavimentos

Em algumas regiões da cidade de Fortaleza encontram-se ruas e avenidas que contam com as suas pavimentações executadas a partir de materiais reciclados de RCD constituindo camadas de sub-base e base. Buscando uma abordagem mais recente das obras de pavimentação executadas na cidade, depara-se como primeiros exemplos a nova Avenida José Jatahy, que teve sua segunda fase de obras entregue em setembro de 2016 e utilizou material reciclado de RCD nas suas camadas de sub-base e base. A Avenida Engenheiro Leal Lima Verde, no bairro da Sapiranga e o binário da Av. Germano Franky, no bairro Parangaba também são exemplos de obras recentes onde ocorreu a utilização de RCD em camadas de pavimentos.

Com o intuito de aprofundar o estudo analítico, a Avenida Crisanto Moreira da Rocha, no bairro do Cambé, é apresentada como estudo de caso na cidade de Fortaleza. Esta via passou por um processo de requalificação e a execução das suas camadas de pavimento foi realizada em duas fases, com 100% de agregado reciclado de RCD nas camadas de base e sub-base em um primeiro segmento da via e 75% de agregado reciclado de RCD adicionado de 25% de agregado natural, sendo este a brita 1, para as camadas de base e sub-base implantadas em um segundo segmento, com todo o material reciclado proveniente da USIFORT (Usina de Fortaleza). Na Figura 2 apresenta-se análise comparativa entre os valores de CBR obtidos para diferentes energias de compactação.

Figura 2 – Comparativo de valores obtidos de CBR para agregados reciclados e composição de agregado reciclado e natural, utilizados na via do estudo de caso



Fonte: Elaboração própria (2020).

Para a amostra composta de 100% de agregado reciclado, quando submetida à energia de compactação normal, o material apresentou valor de massa específica aparente seca máxima de 1,940 g/cm³ e umidade ótima de 11,2%, além de apresentar valores de CBR igual a 43% e expansibilidade nula. Quando submetida à compactação na energia modificada, a massa específica aparente seca apresentou valor de 2,110 g/cm³ e umidade ótima de 10,4%. Para valores de capacidade de suporte, quando submetido a uma energia modificada, o material apresentou CBR de 99% e também expansibilidade nula.

As respostas obtidas pela estabilização utilizada na segunda fase foram bem semelhantes às obtidas pela amostra composta de material reciclado. Ao submeter as misturas à energia de compactação normal, a massa específica aparente seca máxima foi de 1,980 g/cm³ e umidade ótima de 9,6%, para o CBR o valor obtido é de 41% e com expansibilidade nula. Para energia de compactação modificada, o valor da massa específica aparente seca máxima foi 2,140 g/cm³, umidade ótima de 10,8%, CBR de 103% e expansibilidade nula.

5 Conclusões

Este artigo reuniu diversas bibliografias acerca do emprego de agregados reciclados de RCD para fins de pavimentação. O RCD aparece como produto inicial dessa cadeia de reaproveitamento a partir do mau gerenciamento das políticas de geração e destinação de materiais residuais no nosso país, o que desperta na comunidade acadêmica uma necessidade de tornar viável de maneira satisfatória a reincorporação desse material em novas obras.

A partir da coleta e tratamento do RCD a fim de transformá-lo em material granular, percebe-se que, mesmo apresentando-se diversas vezes como um material não uniforme quanto à granulometria, o agregado reciclado consegue ainda atender às faixas granulométricas estabelecidas por norma que viabilizam sua reutilização. No que diz respeito à composição, o comportamento é similar, e por tratar-se de material residual haverá uma parcela de compostos indesejáveis presentes na composição que precisa ser controlada, a fim de que esse material não altere as propriedades das camadas de pavimentos produzidas.

Camadas de revestimentos asfálticos em que a mistura inclui o RCD como agregado na sua composição tendem a apresentar maior consumo de ligante (um dos constituintes das camadas de pavimento com maior valor de mercado), onde foi percebida uma relação em que quanto maior a porcentagem de agregado reciclado de RCD utilizada, maior será o consumo de ligante, uma vez que o RCD tende a ser mais poroso que o agregado convencional, o que finda por encarecer o produto final. E atendo-se ao viés econômico, a utilização do agregado reciclado de RCD pode conferir uma redução substancial de valores obtidos com a compra de agregados, sem que haja perda no que diz respeito ao desempenho qualitativo do pavimento.

As respostas obtidas, quanto à capacidade de suporte de pavimentos executados com agregados reciclados no que se refere aos valores de CBR obtidos nos diversos estudos, demonstraram o potencial do material ser aplicado em camadas de bases e sub-bases de pavimentos. Além de serem verificados aumentos consideráveis na capacidade suporte com a utilização de maiores energias de compactação.

Indica-se o uso de agregados reciclados em vias urbanas de tráfego leve como substituinte do agregado natural, com respostas favoráveis quanto à deformação permanente. O desempenho dos agregados reciclados quanto a esse defeito também se mostrou eficiente quando associado a aglomerantes como cimento Portland e cal hidratada. O uso do material reciclado também é indicado para camadas de sub-base e base, entretanto, tendo em vista sua vulnerabilidade à umidade e à variação de tensões (em função da elevada porosidade) que são impressas ao pavimento, é necessário que ocorra uma maior degradação do agregado constituinte no processo de compactação que na ação sucessiva de cargas impostas às camadas.

Os resultados dos diferentes estudos analisados sugerem que o material residual tem potencial para ser reutilizado como agregado reciclado em camadas de pavimento, trazendo uma contribuição social, econômica e ambiental para o desenvolvimento de uma solução alternativa que reincorpora esse material antes tratado como inservível.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15115**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO. **Relatório Pesquisa Setorial 2014/2015**. São Paulo: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil – 2017**. São Paulo: ABNT, 2017.

BEJA, I. A. **Agregado reciclado de construção e demolição com adição de aglomerantes hidráulicos como sub-base de pavimentos**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

BRASILEIRO, L. L. **Utilização de Agregados Reciclados Provenientes de RCD em Substituição ao Agregado Natural do Concreto Asfáltico**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências dos Materiais, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2013.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 136, p. 95-96, 17 jul. 2002.

CORREIA, R. S. **Estudo de viabilidade econômica para o uso de resíduos de construção e demolição em camadas de base e sub-base de pavimentos**. 2014. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2014.

GÓMEZ, A.M. J. **Comportamento Mecânico de um Agregado Reciclado a Partir de Resíduos de**

- Construção e Demolição Submetido a Carregamentos Cíclicos.** 2016. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- GRUBBA, D. C. R. P. **Estudo do comportamento mecânico de um agregado reciclado de concreto para utilização na construção rodoviária.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- LIMA, M. S. *et al.* Análise Mecânica de Resíduos de Construção e Demolição por meio de ensaios empíricos e mecanísticos. **Revista Conexões – Ciência e Tecnologia**, Fortaleza, v. 12, n. 1, p. 29-37, mar. 2018.
- OLIVEIRA, M. E. D. *et al.* Diagnóstico da geração e composição do RCD de Fortaleza/CE. **Eng. Sanit. Ambient**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 3, p. 219-224, 2011.
- PALACIO, C. H. **Estabilização de solos com resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) para fins rodoviários.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2014.
- RAO, A.; JHA, K. N.; MISRA, S. Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l], v. 50, n. 1, p. 71-81, 2007.
- SAMPAIO, L. L. **Comportamento mecânico de Resíduos beneficiados da construção e demolição utilizados na fabricação de concreto e estabilização de solos.** 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2014.
- SILVA, C. A. R. **Estudo do agregado reciclado de construção civil em misturas betuminosas para vias urbanas.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009a.
- SILVA, B. T. A. **Utilização de materiais alternativos para a construção de pavimentos urbanos na Região Metropolitana de Fortaleza.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009b.
- SILVA, V. C. *et al.* Estudo da aplicação de RCD oriundos de obras na UFCG em misturas asfálticas. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO (RAPv), 42.; ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA (Enacor), 16., 2013. Gramado (RS). **Anais [...].** Gramado: ABPv: ABDER, 2013.p. 1-10.
- VIDAL, A. S. **Caracterização de concreto produzido com resíduos de construção e demolição para utilização em pavimentação permeável em ambiente urbano.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

Sobre os autores

Teresa Raquel Lima Farias

Professora do Departamento de Construção Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (Campus Fortaleza). Engenheira Civil formada pela Universidade Federal do Ceará - UFC (2006). Possui mestrado em Engenharia Civil com concentração em Recursos Hídricos (2008) e Doutorado em Engenharia Agrícola com concentração em Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido (2016), ambos pela Universidade Federal do Ceará, este último com período sanduíche na Universidade de Valladolid (Espanha). Atua nas áreas de Geotecnia e Hidrologia, concentrando estudos nos seguintes temas: estabilização e melhoramento de solos, erosão e transporte de sedimentos em áreas semiáridas, estradas não pavimentadas, hidrologia urbana, pavimentos permeáveis.

Davi de Melo Vieira

Graduação em Tecnologia em Estradas pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE (2016). Graduação em Engenharia Civil pela Universidade de Fortaleza - UNIFOR (2017) Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Cruzeiro do Sul (2019).

Mayara da Silva Lima

Mestra em Tecnologia e gestão ambiental pelo Instituto Federal do Ceará - Campus Fortaleza (2020). Possui graduação em Tecnologia em Estradas pelo Instituto Federal do Ceará - Campus Fortaleza (2016). Técnica em edificações pelo

SENAI do Ceará (2011). Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Infra-Estrutura de Transportes, atuando principalmente no tema: resíduos da construção civil para aplicação em pavimentação. Foi professora do curso de agrimensura na Escola estadual de educação profissionalizante Darcy Ribeiro (2018). Pesquisadora na área de meio ambiente. Membro do grupo de pesquisa Geotecnia e Infraestrutura de Transportes do IFCE

Juceline Batista dos Santos Bastos

É professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia e doutora em Engenharia de Transportes pela Universidade Federal do Ceará. Possui experiência em Engenharia Estrutural, principalmente em alvenaria estrutural. Hoje, atua na área de Engenharia de Transportes, com ênfase em Infraestrutura de Transportes, desempenhando atividades nos seguintes temas: projeto, construção e monitoramento de pavimentos asfálticos; dosagem e caracterização mecânica de misturas asfálticas; análise e dimensionamento de pavimentos.

Avaliado em: 26.01.2021

Aceite em: 25.07.2022